



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İÇ YÜZEY GEOMETRİSİ FARKLI,
KANATÇIK YAPIDA TASARLANMIŞ HAVA
ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN
ISIL PERFORMASININ DENEYSEL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Muhammed Enis YILDIZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Ağustos-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Enis YILDIZ tarafından hazırlanan “İç Yüzey Geometrisi Farklı, Kanatçık Yapıda Tasarlanmış Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinin Isıl Performansının Deneysel Analizi ” adlı tez çalışması 24/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. İlhan CEYLAN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammed Enis YILDIZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇ YÜZEY GEOMETRİSİ FARKLI, KANATÇIK YAPIDA TASARLANMIŞ HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL PERFORMASININ DENEYSEL ANALİZİ

Muhammed Enis YILDIZ

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

2021, 72 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. İlhan CEYLAN

Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Bu tez çalışması Batman ili iklim şartlarında farklı kanatçık yapıda tasarlanan 4 adet hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin değişken hava hızlarındaki (1m/s - 1,5m/s - 2m/s - 2,5m/s - 3m/s - 3,5m/s ve 4m/s) ısı performanslarının deneysel karşılaştırılması yapılmıştır. Batman üniversitesi Batı Raman Kampüsünde kurulan deney düzeneği farklı gün ve hava hızlarında ısı performansına etki eden parametreler sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda kollektörlerde meydana gelen ortalama sıcaklık farkı en yüksek 1,5m/s hava hızında 54°C ile Alüminyum kutulu-metal talaşlı havalı güneş kollektöründe (HGK-3) olmuştur. 1m/s ile 4m/s arasındaki hava hızlarındaki artış miktarı, tüm kollektörlerin anlık ve günlük ortalama verim değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ortalama en yüksek verim değerlerine bakıldığında; hava hızı 1m/s için verim değeri %21 ile Alüminyum kutulu (HGK-1) kollektöründe, 1,5m/s hava hızı için verim değeri %31 ile Alüminyum kutulu-metal talaşlı (HGK-3) kollektöründe, 2m/s - 2,5m/s - 3m/s ve 3,5m/s hava hızları için verim değerleri sırasıyla %35, %43, %45 ve %53 ile Alüminyum kutulu (HGK-1) kollektöründe ve 4m/s hava hızı için verim değeri ise %51 ile Alüminyum kutulu-parafinli (HGK-4) kollektöründe olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Havalı güneş kollektörleri, ısı verim, güneş enerjisi, Faz değiştiren Madde (FDM), Alüminyum kutular.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE THERMAL PERFORMANCE OF AIR HEATED SOLAR COLLECTORS WITH FIN STRUCTURE DESIGNED WITH DIFFERENT INNER SURFACE GEOMETRY

Muhammed Enis YILDIZ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

2021, 72 Pages

**Jury
Prof. Dr. İlhan CEYLAN
Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ
Asst. Prof. Dr. Hasan OKTAY**

In this thesis study consists 4 air heated solar collectors designed with different fin structure in the climatic conditions of Batman province have variable air velocities (which are 1m/s - 1.5m/s - 2m/s - 2.5m/s - 3m/s - 3.5m/s - 4m/s) and in addition to thermal performances were experimentally compared. The parameters affecting of the thermal performance at different day and air speeds of the experimental setup set up in Batman University West Raman Campus were numerically investigated. As a result of the experiments, the average temperature difference occurred in the collectors was at the highest 1.5m/s air speed of 540C and in the air solar collector (HGK-3) with aluminum box and metal chips. It has been observed that the amount of increase in air velocities between 1m/s and 4m/s increases the instantaneous and daily average efficiency values of all collectors. Considering the average highest yield values ; Efficiency value for 1m/s air velocity is 21% in Aluminum box (HGK-1) collector, for 1.5m/s air velocity, efficiency value is 31% In Aluminum box-metal chip (HGK-3) collector, 2m/s - 2 Efficiency values for 5m/s - 3m/s and 3.5m/s air velocities are respectively 35%, 43%, 45% and 53% in the Aluminum box (HGK-1) collector and for 4m/s air velocity the efficiency value is It has been observed that it is 51% in the Aluminum box-paraffin (HGK-4) collector.

Keywords: Air solar collectors, thermal efficiency, solar energy, Phase Change Material (FDM), Aluminum cans.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının öncesi, hazırlık ve deneylerin yapılması aşamalarına büyük katkısı olan, karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik bilgi ve tecrübelerini güler yüz ve samimiyeti ile aktarmaya çalışan kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca eğitim süresi boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve motive kaynağım olan eşim Sibel YILDIZ ile kardeşim Muhammed İkbâl YILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Muhammed Enis YILDIZ
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	2
1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....	16
3.1. Sabit (Odaklanamayan) Güneş Kollektörleri.....	16
3.1.1. Düzlemsel güneş kollektörleri	16
3.1.1.1. Sıvı akışkanlı güneş kollektörleri	18
3.1.1.2. Hava akışkanlı güneş kollektörleri	19
3.1.2. Vakumlanmış tüplü güneş kollektörleri.....	21
3.2. Yoğunlaştırmalı (Odaklanabilen) Güneş Kollektörleri.....	22
3.2.1. Parabolik çanak güneş kollektörleri.....	23
3.2.2. Lineer fresnel reflektör güneş kollektörleri	24
3.2.3. Parabolik oluk toplayıcı güneş kollektörleri	25
3.2.4. Merkezi alıcı güneş kollektörleri	26
3.3. Güneş Kollektörleri Genel Kasa Yapısı.....	27
3.3.1. Saydam örtü	28
3.3.2. Emici plaka	29
3.3.3. Kollektör kasası	30
3.3.4. Kollektör yalıtımı.....	31
4. GİZLİ ISI DEPOLAMA	33
4.1. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM).....	35
4.1.1. Parafinler.....	35
4.1.2. Tuz hidratları.....	38
4.1.3. Yağ asitleri	39
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
5.1. Deney Setinin Hazırlanması	40
5.1.1. Kollektör panelinin optimum eğim açısı	46

5.2. Ölçüm Cihazlarının Bağlantısı.....	48
5.3. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması	53
5.4. Hesaplamalar	55
5.4.1. Belirsizlik analizi	57
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	60
6.1. Farklı Hava Hızlarında Kollektörlerde Meydana Gelen Sıcaklık Farkları	60
6.1.1. Hava hızı 1m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	60
6.1.2. Hava hızı 1,5m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	61
6.1.3. Hava hızı 2m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	62
6.1.4. Hava hızı 2,5m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	63
6.1.5. Hava hızı 3m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	64
6.1.6. Hava hızı 3,5m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	65
6.1.7. Hava hızı 4m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları.....	66
6.1.8. Tüm hava hızlarına göre ortalama sıcaklık farkları	67
6.2. Kollektörlerdeki Verim Analizleri.....	68
6.2.1. Ortalama verim grafiği.....	68
6.2.2. Oluşan maksimum verim grafiği	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
7.1 Sonuçlar.....	71
7.2 Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyeli.....	5
Tablo 3.1. Hava ve Sıvı Akışkanlı Kollektörlerin Karşılaştırılması.	20
Tablo 3.2. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri.....	31
Tablo 4.1. Parafinlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	36
Tablo 4.2. Bazı Parafinlerin Özellikleri	37
Tablo 4.3. Çeşitli Tuz Hidratlarına ait Erime Sıcaklıkları ile Erime Gizli Isıları	38
Tablo 4.4. Tuz Hidratlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	39
Tablo 4.5. Bazı Yağ Asit Maddelerin Özellikleri	39
Tablo 5.1. GAMAK AGM 90 S 4 model Fan Teknik Özellikleri	41
Tablo 5.2. Batman İli Optimum Aç-Verim İlişkisi.....	46
Tablo 5.3. Termokupl Teknik Özellikleri	48
Tablo 5.4. Deneyde kullanılan Elimko 680 Data logger cihazına ait teknik bilgiler.....	50
Tablo 5.5. Radyasyon Ölçüm aleti Teknik Özellikleri	51
Tablo 5.6. Anemometrenin Teknik Özellikleri	52
Tablo 5.7. Toplam Belirsizlik Analizi Tablosu.....	59
Tablo 6.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Güneşten dünyamıza gelen ışınların dağılımı	3
Şekil 1.2. Türkiye için Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası	4
Şekil 1.3. Global Radyasyon Değerleri	6
Şekil 1.4. Türkiye ve Batman İlinin Güneşlenme Süreleri	7
Şekil 3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörü ve Kısımları	17
Şekil 3.2. Sıvı Akışkanlı Düzlemsel Güneş Kollektörü.	18
Şekil 3.3. Havalı güneş kollektörünün kesiti ve açılmış görünüşü.....	19
Şekil 3.4. Isı Borulu (Vakumlanmış Tüplü) Güneş Kollektör Şeması	22
Şekil 3.5. Odaklanabilen Çanak Kollektörü Genel Yapısı. Kalogirou	23
Şekil 3.6. Parabolik Çanak Toplayıcısının Şematik Gösterimi.	24
Şekil 3.7. Lineer Fresnel Reflektör Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 3.8. Parabolik Kolektör Ve Akışkan Borusu	26
Şekil 3.9. Merkezi Alıcılı Güneş Kolektör Sistemleri	27
Şekil 3.10. Güneş Kollektörünün Şematik Gösterimi.	28
Şekil 3.11. Cam Örtünün Geçirgenliği İle Kollektör Verimi Değişimi.....	29
Şekil 3.12. Güneş Kollektörlerin Yutucu Yüzey Şekilleri.	30
Şekil 3.13. Deneyde Kullanılan Havalı Güneş Kollektörü Kasası	31
Şekil 3.14. Bazı Yalıtım Malzemeleri	32
Şekil 4.1. FDM'lerin Sınıflandırılması.....	35
Şekil 5.1. Havalı Güneş Kollektörü Tasarım Şeması	40
Şekil 5.2. Deneyde Kullanılan Radyal Fan ve motoru	41
Şekil 5.3. Dört (4) Farklı Çıkışa Sahip Hava Basan Fan	42
Şekil 5.4. Alüminyum Kutuların Kesilmesi	43
Şekil 5.5. Metal Talaşlı Alüminyum Kutular	43
Şekil 5.6. Parafin Kapsüllü Alüminyum Kutular	44
Şekil 5.7. Parafin Kapsüllü Havalı Güneş Kollektörü Montajı	44
Şekil 5.8. Metal Talaşlı Havalı Güneş Kollektörü Montajı.....	45
Şekil 5.9. Boş Kollektör	45
Şekil 5.10. Alüminyum Kutulu Güneş Kollektörü	45
Şekil 5.11. Havalı Güneş Kollektörlerinin Genel Görüntüsü	47
Şekil 5.12. Dört Farklı Tasarımlı Havalı Güneş Kollektörlerinin 3D Görseli	47
Şekil 5.13. K tipi Termokupl	48
Şekil 5.14. Termokupl Örnek Kollektör Bağlantısı.....	49
Şekil 5.15. Data Logger Cihazı	50
Şekil 5.16. Radyasyon Ölçüm Cihazı.....	51
Şekil 5.17. Deneyde Kullanılan Anemometre	52
Şekil 5.18. Deney Düzenegi Termokupl Bağlantı Şeması	53
Şekil 5.19. Deney Verileri Çizelgesi	54
Şekil 5.20. Sıcaklık Değerlerinin Okunup Kaydedilmesi.....	54
Şekil 6.1. 1m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	60
Şekil 6.2. 1,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	61
Şekil 6.3. 2m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	62
Şekil 6.4. 2,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	63
Şekil 6.5. 3m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	64
Şekil 6.6. 3,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	65
Şekil 6.7. 4m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları	66
Şekil 6.8. Tüm Hava Hızlarına Göre Ortalama Sıcaklık Farkları	67
Şekil 6.9. Kollektörlerde Oluşan Günlük Ortalama Verim Grafiği.....	68
Şekil 6.10. Kollektörlerde Oluşan Günlük Maksimum Verim Grafiği	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_k	Kollektöre ait yüzey alanı (m^2)
$A_ç$	Kollektörün çıkış kesit alanı (m^2)
C_p	Havanın özgül ısısı ($kcal/kg\ ^\circ C$)
I	Güneş Işınım Şiddeti (W/m^2)
$\dot{m}$	Kütleli debi (kg/s)
Nu	Nuselt sayısı
Re	Reynolds sayısı
T_g	Kollektör Giriş Sıcaklığı
$T_ç$	Kollektör Çıkış Sıcaklığı
V	Hava akış hızı (m/s)
W_s	Toplam belirsizlik değeri
Δt	Sıcaklık farkı ($^\circ C$)
Q	Havaya aktarılan enerji (kWh)
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
η	Kollektörün ısı verimi

Kısaltmalar

EPK	Elektrik Piyasası Kanunu
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HGK-1	Alüminyum Kutulu Havalı Güneş Kollektörü
HGK-2	Havalı Boş Güneş Kollektörü
HGK-3	Alüminyum Kutulu (Metal Talaşlı) Havalı Güneş Kollektörü
HGK-4	Alüminyum Kutulu (Parafinli) Havalı Güneş Kollektörü
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Dünyada fosil yakıtların kullanılması sonucu giderek artan çevre kirliliği ve sera gazları, insanları alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Ülkelerin artan insan nüfusuna paralel olarak ortaya çıkan enerji ihtiyaçlarının karşılanması içinde farklı türde enerji seçenekleri değerlendirilmektedir. Fosil yakıtların önümüzdeki yıllarda azalacağı da ön görüldüğünde temiz enerji kaynaklarının önemi çok daha değerli hale gelmektedir. Dünyada bulunan enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ülkelerin tercihi de yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada bol miktarda olması, çevreye atık madde salımının düşük olması ve temiz bir enerji kaynağı olması sebebiyle kullanımı giderek artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımına bakıldığında; “Doğanın kendi döngüsü içinde sonraki gün aynı şekilde elde edilebilen enerji kaynağı” olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, yenilenebilir enerji kaynakları, kullanılabilirlik (Availability), ulaşılabilirlik (Accessibility), kabul edilebilirlik (Acceptability) gibi özelliklerinin tümünü barındırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, deniz veya okyanuslardaki gel-git ve dalga hareketleri olarak kabul edilir (Özkaya 2004).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında olan güneş enerjisi, doğada bol miktarda bulunması, potansiyelinin yüksek olması ve çevre dostu gibi etkenlerden dolayı en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi günümüzde ısıtma ve elektrik enerjisinin elde edilmesi gibi alanlarda çok sık kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında potansiyeli en büyük olan güneş enerjisi; kullanımı ve ulaşımı konusunda birçok avantaja sahiptir. Bu avantajları incelendiğinde; çevre kirliliğine neden olmaması, üstün ve karmaşık bir teknolojiye ihtiyaç duymaması ile beraber yerel olarak uygulanabilir olması önemlidir. Bu avantajları nedeniyle güneş enerjisi, yakın zamanda üzerinde yoğun projelerin yapıldığı bir alan olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisinin genel olarak kullanıldığı alanlara bakıldığında; yapıların ısıtılması, iklimlendirme uygulamaları, endüstriyel uygulamalar, gıda ürünlerinin kurutulması ve direk elektrik üretimi gibi alanlar örnek olarak gösterilebilir (Karim ve Hawlader 2004).

Günümüzde giderek artan ısınma ve elektrik talepleri için güneş enerjisinden farklı şekillerde faydalanılmaktadır. Güneşten maksimum şekilde verimli olarak faydalanabilmek için birçok farklı sistemler geliştirilmiştir. Aktif güneş sistemleri olarak

isimlendirilen bu sistemlerde, güneş enerjisini istenilen miktarda elektrik ve ısı enerjisine dönüştürmek maksadıyla çeşitli elektronik ve mekanik tasarımlar kullanılmaktadır (Doğan 2015).

Bu çalışmada Batman ili iklim şartlarında kanatçık yapıda farklı malzeme yapıları ile tasarlanmış hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin ısı yönünden performanslarının deneysel analizi yapılarak verim açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmada 41 derecelik sabit eğim açısında dört (4) farklı güneş kolektör paneli tasarımı yapılarak gün içinde farklı debiler altında göstermiş oldukları ısı performansları karşılaştırılarak verim analizi yapılmıştır. 1. Tip Güneş kolektörü (HGK-1) Alüminyum kutular kanatçık yapıda kesilerek belirli bir düzende kolektöre dizilmişlerdir. 2. Tip Güneş Kolektörü (HGK-2); içi boş olarak tasarlanmış, 3. Tip güneş kolektörü (HGK-3); Kanatçık yapıda kesilmiş Alüminyum kutular içine metal talaşı doldurularak tasarlanmış, 4. Tip güneş kolektörü (HGK-4); Kanatçık yapıda kesilmiş Alüminyum kutular içine Parafin maddesi konularak tasarlanmıştır.

Farklı 4 tipte tasarlanan güneş kolektörleri birbirlerini izleyen günlerde 1m/s - 1,5m/s - 2m/s - 2,5m/s - 3m/s - 3,5m/s ve 4m/s hava hızlarında ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Farklı malzeme yapılarında tasarlanan güneş kolektörlerine bağlanan termokupullardan alınan sıcaklık ve radyasyon verileri, data logger aracılığı ile bilgisayar ortamında kayıt altına alınarak elde edilen bilgiler izlenmiş ve verim analizleri yapılmıştır.

1.1. Güneş Enerjisi

Yeryüzündeki önemli enerji kaynaklarından olan güneş, hem yaşamın kaynağı olması hem de sürekli bulunabilirliği açısından çok önemli bir enerji kaynağıdır. Diğer enerji kaynaklarının oluşumu noktasında da temel kaynak teşkil etmesi açısından yeri doldurulamaz bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların oluşumu, sıcaklık farklarından dolayı oluşan rüzgâr enerjisi de yine güneşin dolaylı olarak etkisinden dolayı oluşmaktadır.

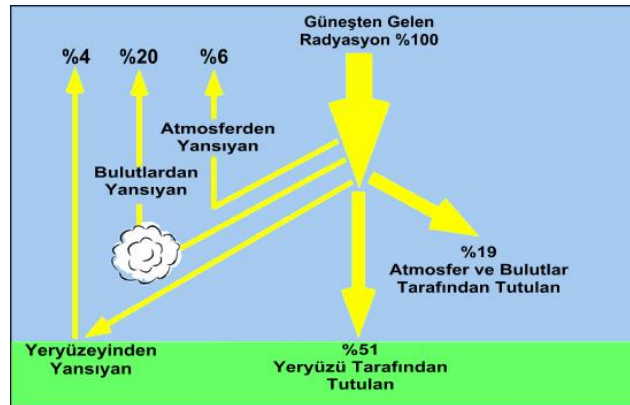
Güneş yüzey sıcaklığı 5.500°C ve çapı da 1.392.700 kilometredir. İç yapısına bakıldığında yoğun olarak sıcak gazların bulunduğu görülür. Çekirdek bölge sıcaklığı 15,6 milyon $^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Yoğunluğu suya göre 100 kat daha fazla olduğu düşünülmektedir. Güneş ile Dünya arasındaki uzaklık 150 milyon kilometredir. Güneş kütesinin önemli bir kısmını oluşturan Hidrojen atomlarının nükleer reaksiyonlar sonucunda Helyuma dönüşerek Güneş radyasyonunu oluşturmaktadır. Hidrojen, evrende

var olan ve bu nükleer reaksiyon için gerekli en temel elementtir (Duffie ve Beckman 2013).

Güneş kütlelerinin yaklaşık dörtte biri helyumdan ve dörtte üçünün de hidrojenenden oluştuğu söylenmektedir. Hacimsel olarak bakıldığında ise Güneşin yaklaşık %8'i helyumdan %92'si ise hidrojenenden oluşmaktadır. Güneşin yapısı içerisinde bu oranların dışında çok az miktarlarda diğer metaller de bulunmaktadır. Sözü edilen bu miktarlar hidrojenin helyuma dönüşmesi sebebiyle, belirli bir zaman sonra helyumun artması yönünde şekillenmektedir (Boz 2011).

Dünya güneş enerjisinin şiddeti atmosferinin dışında, yaklaşık olarak 1.370W/m^2 'dir. Fakat dünyaya gelen miktarı atmosferden kaynaklı $0-1.100\text{W/m}^2$ değerleri arasında farklılık gösterir. Enerjinin dünyaya gelen az bir miktarı bile insanların hâlihazırdaki enerji tüketiminden çok daha fazladır. Güneşin enerjisinden faydalanılması ile ilgili çalışmalar 1970'li yıllardan sonra hızlanmıştır. Güneş kaynaklı enerji sistemleri son zamanlarda maliyet bakımından azalma ve teknolojik olarak da ilerleme kaydetmiştir. Doğaya karşı da temiz bir enerji kaynağı olarak yer edinmiştir. Güneş enerji sistemleri kurulumdan sonra da düşük maliyetle çalışması dolayısıyla güneş enerjisinin önemi gittikçe artmaktadır (Anonim, 2021a).

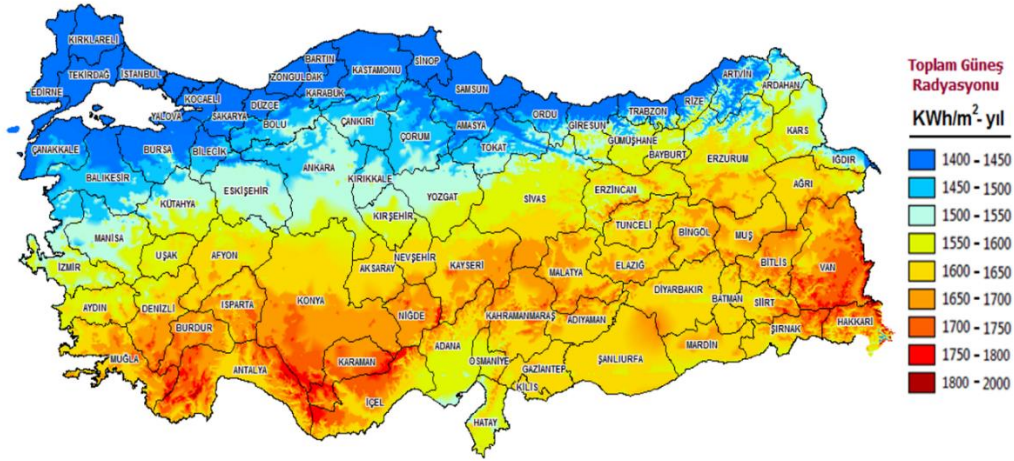
Güneşten yeryüzüne gelen solar radyasyonun yaklaşık %51'i direk olarak yeryüzüne gelir. Gelen enerji yeryüzünü ve yeryüzüne yakın olan atmosferi ısıtarak buharlaşmaya sebep olur. Aynı zamanda bitkiler tarafından yapılan fotosentez olayının oluşumu gerçekleşir. Diğer taraftan geriye kalan radyasyonun %49'unun %4'ü de yer yüzeyinden yansıma yapar. %26'sı atmosfer ve bulut aracılığıyla yansıtılır. Kalan %19 ise partiküller, atmosferde bulunan gazlar ve bulutlar aracılığıyla emilir. Güneşten dünyamıza gelen ışınların dağılımları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir (Anonim, 2021b).



Şekil 1.1. Güneşten dünyamıza gelen ışınların dağılımı

1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye’de güneş, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal ile diğer enerji kaynaklarının bulunması ve değerlendirilmesi konusunda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) yetkilidir. YEGM, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesi altında çalışmalarını sürdürür. YEGM, güneş enerjisi ile ilgili çalışmaları kendi içerisinde çıkarmış olduğu 20.02.2001-4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (EPK) ile bu Kanun’a dayanarak oluşturulan Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği’ne binaen güneş ve rüzgâr enerjisi konularında lisans almak amacıyla ile başvurularda Bakanlıkça hazırlanan yönetmelik doğrultusunda görüşlerini bildirmektir (Kılıç 2015).



Şekil 1.2. Türkiye için Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

YEGM tarafından Türkiye için yayımlanan Şekil 1.2.’deki güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında güneş enerjisinden en fazla yararlanan bölgeler açık veya koyu kırmızı renklerle belirtilmiştir. Bölgeler incelendiğinde güneş enerjisinden yararlanma konusunda potansiyeli en yüksek yerler ülkenin güney kesimleri olurken kuzey kesimlerine doğru gidildiğinde ise bu oranların azaldığı görülmektedir. Toplam güneş radyasyon değerlerine bakıldığında ise 1.450-2.000kWh/m²-yıl aralığında değişkenlik göstermektedir (Anonim, 2021c).

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından düzenlenen, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasında (GEPA) belirtilen veriler incelendiğinde; yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.741,07 saat/yıl, günlük ortalama toplam güneşlenme süresi 7,50 saat/gün, yıllık ortalama toplam ışıınım şiddeti 1.527,46 kWh/m²-yıl ve günlük ortalama toplam ışıınım şiddeti ise 4,18 kWh/m²-gün olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2021a).

Coğrafi konum itibariyle Türkiye 36-42° kuzey paraleli ile 26-45° doğu meridyeni arasında bulunmaktadır (Anonim, 2021ç). Bu konumundan dolayı güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda kuzey kesimlerde bulunan diğer ülkelere göre üstünlükleri bulunmaktadır. Türkiye’de son yıllarda yapılan yatırımlarla birlikte güneş enerjisinin kullanımı ve değerlendirilmesi konularında önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Diğer ülkelere göre Türkiye’de, güneş enerjisi bakımından avantajının çok fazla olması bu potansiyelin verimli ve etkin bir biçimde kullanılmasını daha çok önemli bir hale getirmektedir. Güneş enerjisi kullanımı konusundaki gelişmeler yakından takip edilmeli ve birçok alanda güneş enerjisinden maksimum bir şekilde fayda sağlanmalıdır. Bu şekilde, ülke ekonomisi için enerji harcamaları konusunda önemli bir gider kalemi azaltılarak buradan elde edilecek tasarruf sayesinde farklı ihtiyaçların giderilmesinde kullanılabilecektir (Alan ve Tuna 2013).

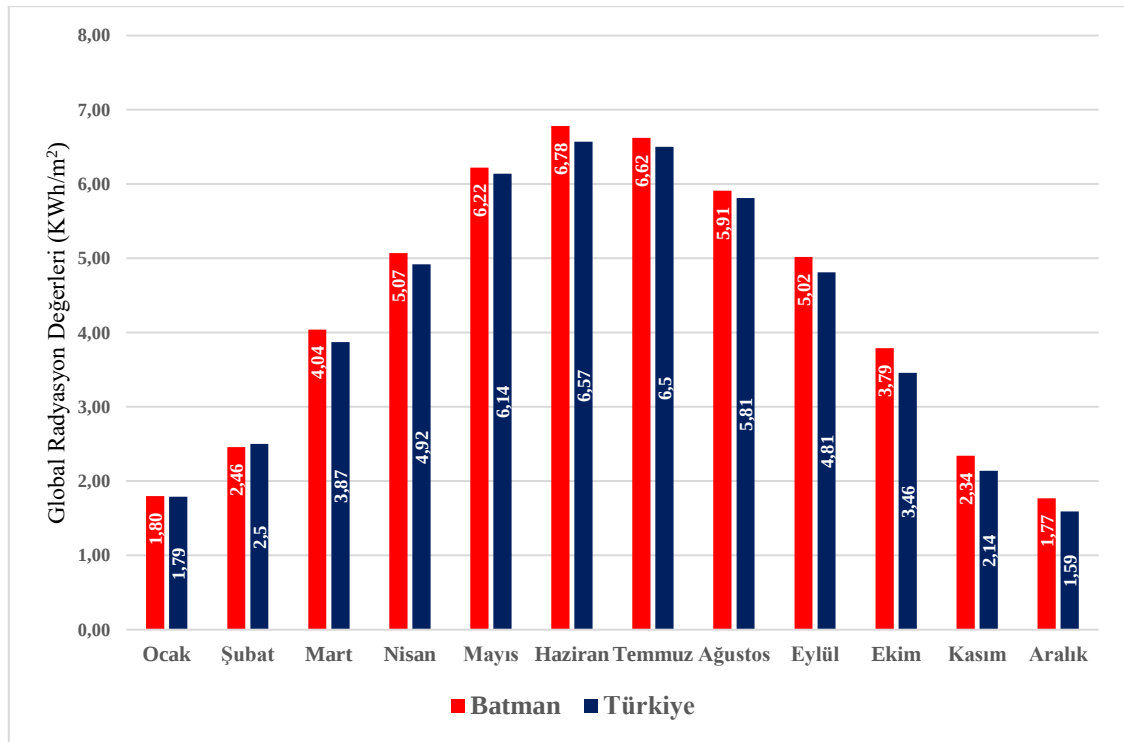
Tablo 1.1. Türkiye’nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyeli

Bölgeler	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi kWh/m ² -yıl	En Yüksek Güneş Enerjisi (Haziran ayı) kWh/m ²	En Düşük Güneş Enerjisi (Aralık ayı) kWh/m ²	Ortalama Güneşlenme Süresi Saat / yıl	En Yüksek Güneşlenme Süresi (Haziran ayı) Saat	En Düşük Güneşlenme Süresi (Aralık ayı) Saat
Güneydoğu Anadolu B.	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz B.	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu B.	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu B.	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege B.	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara B.	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz B.	1.120	1.315	409	1.971	273	82

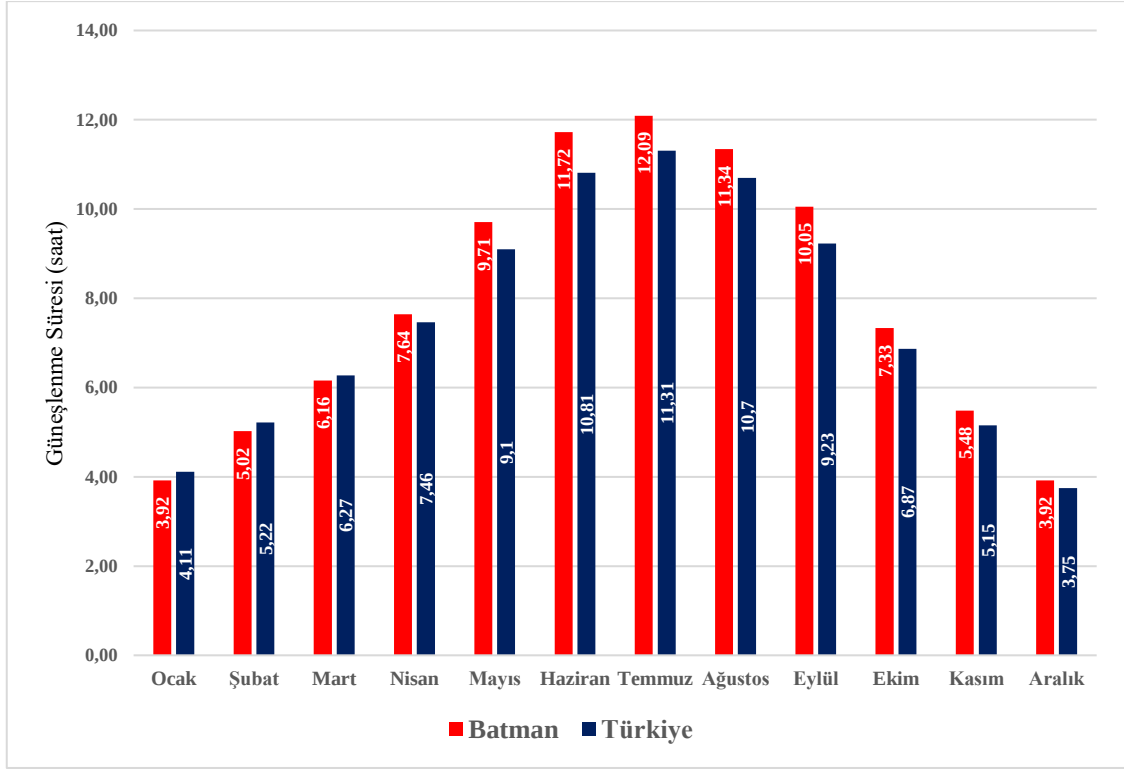
Tablo 1.1.’e bakıldığında Türkiye’nin genel olarak yıl genelinde güneş enerjisi en az olarak elde edilen ayın Aralık ayı olduğu en çok elde edilen ay ise Haziran ayı olduğu görülmektedir. Bölgeler içerisinde güneş enerjisi potansiyeli açısından da Güneydoğu

Anadolu ile Akdeniz bölgesi önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisinde üretiminin çok az olduğu Karadeniz bölgesinin dışında birim metre kareden yılda 1.100kWh’lık enerji elde edilir. Toplam güneşli saat süresi 2.640’dır. Bu şekilde Türkiye’de alınan enerji miktarı da yıllık toplam olarak yaklaşık 1.015kW saattir (Anonim, 2021d).

Türkiye’nin birçok bölgesinde, güneş enerjili su kolektörleri yıl içinde %70 civarı verimli bir şekilde çalışabilmektedir. Bundan dolayı, güneş enerjisi kolektörleri hususiyle Güney ve Ege kıyıları olmak üzere, ülkemizin birçok bölgesinde sıcak su elde etmek amacıyla hâlen çok yoğun olarak tercih edilmektedir. Birçok endüstriyel çalışmalarda ve bina ısıtma çalışmaları ile elektrik üretimi konularında fotovoltaiik pillerin tercih edilmesi giderek artmaktadır. Türkiye’nin güneş kolektörü ile ilgili yıllık üretim kapasitesi 750.000m² ile 1.000.000m² değerleri arasındadır. Üretilen enerjinin bir kısmı da diğer ülkelere ihraç edilmektedir (Kılıç 2015).



Şekil 1.3. Aylara Göre Global Radyasyon Değerleri (Anonim 2021c)



Şekil 1.4. Türkiye ve Batman İlinin Güneşlenme Süreleri (Anonim 2021c)

Batman ili için Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.'de toplam radyasyon değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) ile güneşlenme süreleri (saat) verilmiştir. Grafiğe bakıldığında Batman ili için Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerlerine ulaştığı görülmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli bakımında Türkiye ortalamasının üstünde olan Batman ili bu alanda yapılacak enerji yatırımlarında önemli bir avantaja sahip bir konumdadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan güneş enerjisinden faydalanılan alanlardan biride hava ısıtmalı güneş kolektörleridir. Hava ısıtmalı güneş kolektörleri için ısı verimi arttırmak için farklı yöntemlerin uygulandığı bilimsel araştırmalar bulunmaktadır. Isıl verimi arttırmak amacıyla farklı yutucu yüzey malzemelerin seçimi, değişik şekillerde yutucu yüzey profilleri veya çeşitli dolgu malzemeleri kullanılarak farklı tasarımlar geliştirilmektedir.

Havalı güneş kolektörleri genel itibariyle yapıların ısıtılmasında veya tarım ürünlerinin kurutulması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Güneş enerjili kurutucularda havalı güneş kolektörleri, ayrı veya kurutucu ile birlikte olarak kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte güneş kolektörleri binalarda havanın ön ısıtılmasında ve ortam havalandırması gibi alanlarda da tercih edilmektedir (Bulut 2006).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada havalı güneş kolektörlerindeki verimin artırılmasına yönelik çeşitli araştırma ve deneysel gözlemler yapılmış olup bu konu ile ilgili araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar da şöyledir;

Toğrul ve Pehlivan (2002), yaptıkları çalışmada, hava ısıtılmalı çift geçişli güneş kolektörlerinde yutucu yüzeyin kolektör üzerindeki konumuna göre ısı verimin etkisini incelemişlerdir. Çift geçişe sahip hava akış kanalına yerleştirilen dolgu malzemesi yeni tasarlanmış konik yapıdaki yoğunlaştırıcı hava ısıtıcısının ısı performansına farklı emici yüzey kullanılması durumundaki etkisi araştırılmıştır. Deney sonucunda dolgu kullanılan farklı üç ayrı absorber yüzey birbiri ile kıyas edildiğinde veriminin (%5,14) seçici yüzeyin siyah boyalı absorbere göre daha fazla olduğu, yapay olarak pürüzlendirilen yüzeyin ise %3,4 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Bulut vd (2006), havalı güneş kolektörü tasarımı yaparak Şanlıurfa iklim şartlarında deneysel analiz gerçekleştirmişlerdir. Deneyde kolektörün giriş ve çıkışındaki havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hava hızı, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım şiddeti ile emici yüzey tabaka sıcaklığı gibi değerler alınarak incelemede bulunulmuştur. Havalı güneş kolektörün ısı verimi ortalama %53 olarak ölçülmüş ve kolektördeki giriş ve çıkışlardaki ortalama sıcaklık farkları da 20°C olarak tespit edilmiştir.

Kırbaş (2006), labirent tipte tasarlanmış havalı güneş kolektörünün performansının deneysel olarak incelediği çalışmasında; üç farklı hava debisinde farklı gün ve sıcaklıklar altında yapılan deneyde yutucu plaka sıcaklığı, kolektör giriş-çıkış sıcaklıkları, güneş ışınımı değerleri ve çevre sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. Deney sonucunda 1,3m/s hava hızında %73,11 verim değeri 1,4m/s hava hızında %76,75 verim değeri ve 1,5m/s hava hızında verim değeri %82,83 şeklinde tespit edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında yüksek olan hava hızlarında labirentli tip kolektörde verim değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Ceylan vd (2006), yaptıkları çalışmada klasik yapıda tasarlanmış kurutma fırınlarında işlem öncesi ön kurutmayı sağlamak amacıyla havalı kolektörlerin kullanılarak kerestelerin kurutulması amaçlanmıştır. Kerestenin iç yapısındaki mevcut serbest halde bulunan nemin tasarlanan bu kurutucu ile atılması ile klasik yapıdaki buharlı tip kurutma fırınlarında uzun süre çalışmaları azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması hedeflenmiştir. Tasarlanan bu kurutma sistemi için elde edilen verilere bakıldığında;

kavak keresteleri değerleri için %80 gr su/ gr kuru maddenin nem miktarından, %20 gr su/gr kuru madde nem miktarına 13 saatlik bir sürede getirilmiştir. Çam keresteleri için aynı sistemdeki değerler için ise %110 gr su/gr kuru madde nem miktarından %20 gr su/ gr kuru madde nem miktarına 19 saatlik bir sürede getirilmiştir.

Benli vd .(2007), yaptıkları çalışmada sera için ısıtma ihtiyacını karşılanması için güneş hava kolektörleri ile FDM'lerin sistem performanslarını incelemiştir. Bu çalışmada; beş farklı yapıda ve yüzey geometrilerinde tasarlanmış olan 10 (on) adet havalı güneş kolektörü, akış kanalları hava fanı, kimyasal madde, gizli ısınin toplandığı depolama tankı ve ölçüm yapılacak malzemeler kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda kolektörler arasında verimi en yüksek olan %43 ile ondülin tip olan güneş kolektörü olduğu gözlemlenmiştir. Verim en düşük ise düz plakalı güneş kolektörü tespit edilmiştir.

Özgen (2007), çalışmasında üç farklı tasarımdaki güneş hava kolektörünün ısı analizlerini deneysel yöntemlerle incelemiştir. Kutuların karmaşık olarak yerleştirildiği yutucu yüzeye Tip I, kutuların düzgün sıralı bir şekilde yerleştirildiği Tip II ile düz yutucu yüzeye sahip Tip III şeklinde farklı ayrı ayrı deney seti oluşturulmuştur. Bu kolektörlere 0.03kg/s ve 0.05kg/s lik hava debilerindeki ısı değerleri deneylerle incelenmiş ve Tip I'in ısı performansının diğer tiplere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Bayrak (2011), yaptığı çalışmada; farklı beş (5) tipteki hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin ısı performans analizleri hakkında incelemelerde bulunmuştur. Bu kolektörlerin emici yüzeyine, 6 ve 10mm kalınlıklarında, yüzey alanları 50cm² olan, alüminyum köpükler (kapalı hücreli) yerleştirmiştir. Alüminyum köpükler, kolektördeki plaka üzerine, şaşırtmalı ve şaşırtmasız bir şekilde yerleştirmiştir. Deneyler düz yapıdaki kolektör için de aynı şartlarda gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 0,016kg/s ve 0,025kg/s hava debilerinde yapmıştır. 16 farklı parametrenin incelediği çalışmanın sonucunda, tüm debi değerlerinde 6 mm'li şaşırtmalı kolektörün verim değeri en yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Gill vd. (2012), tek kanallı havalı güneş kolektörlerinde tek ve çift camlı olması durumu ile ilgili deneyler yapmışlardır. Tek camlı sistemde genişliği 0,72m, boyu 2,06m, çift camlı olan sistemde ise genişliği 0,82m ve boyu 2,16m boyutlarındaki sistemi cam çerçeve ile kaplanmıştır. Deneyde kullanılan debi miktarları 0,011 - 0,014 - 0,017 ile 0,020m³/s.m² olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda tek cam ile kaplı kolektörün verimi %37,45, çift camla kaplı olan kolektör verimi ise %24,07 olarak tespit edilmiştir.

Amin ve Hawlader (2013), yaptıkları çalışmada; Singapur Ulusal Üniversitesinde oluşturdukları deney setinde geleneksel hava kollektörünü ve havalı güneş kollektörü ısı pompası, kurutma ve iklimlendirme şeklinde 3 farklı uygulamada karşılaştırma yapmışlardır. Geleneksel kollektörlere kıyasla güneş kollektörü destekli sistemlerin %80-90 oranlarda daha yüksek verimde olduğu görülmüştür. Deney sonucunda sistemdeki performans katsayısı 8 gibi yüksek olan bir değere çıktığı gözlemlenmiştir.

Utlı vd. (2014), Yıldız Teknik Üniversitesinde bulunan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'inde bulunan güneş kollektörleri kullanılarak ısıtılmasını ve ısı enerjisinin depolaması konusunda çalışma yapmışlardır. FDM'nin gizli ısısı kullanılarak tasarlanan gizli ısı depolarının verimleri incelenip, toprak kaynaklı yapıdaki ısı pompası, güneş panelleri ve FDM olarak parafin maddesinin kullanıldığı gizli ısı deposu ile çalışan ısıtma sisteminin ısı performansları incelenmiştir. Güneş ışınlamına göre farklı toprak sıcaklıkları ve enerji depolama miktarının değişimi gözlemlenmiştir. Aralık ile Şubat aylarını içine alan 3 aylık periyottaki en soğuk olan kış döneminde, mekanın ısı ihtiyacının yüksek olması nedeniyle, kollektörlerden alınan enerjinin depolanıp kullanılmasının uygun olmadığı, Ekim, Kasım ve Mart ayları için ise saat 10:00- 15:00 arasında ısı depolamanın uygun olduğu görülmüştür. Bu düzenek ile akşam vakitlerinde mekanın ısı ihtiyacının arttığı saatlerde kullanılması uygundur.

Doğan (2015), yaptığı çalışmada güneş paneli destekli olan havalı bir güneş kollektörü tasarlayarak imal etmiş ve ısı performansını Karabük ilindeki iklim koşullarında deneysel olarak incelemiştir. Sistemde bulunan fanların çalışabilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan enerjiyi de güneş panellerinden karşılamıştır. Deneylerin sonucunda; kollektörün ortalama verimi %43 olarak tespit edilmiştir. En yüksek olan üfleme havasının sıcaklığı 48°C ve yine en yüksek olan yutucu yüzey sıcaklığı da 96°C olarak tespit edilmiştir. Deneylerin yapıldığı sürelerde kollektörden alınabilen ortalama ısı enerjisi de 53W olarak hesaplanmıştır.

Dissa vd. (2016), kompozit emici tabaka yüzeyine sahip bir güneş kollektörü tasarlamışlardır. Emici oluklu kompozit bir demirli sacdan imal edilmiş gözeneksiz bir emici ile alüminyum hasırdan oluşmuş gözenekli bir emiciden oluşmaktadır. Gün içinde oluşan değişken sıcaklık değerleri eşitliklerle belirlenmiştir. Pürüzsüz emiciden oluşan kollektör düşük olan ısı transferine sahip olduğundan dolayı akışkana geçen enerji miktarı pürüzlü emiciden oluşan kollektöre göre daha az olduğu görülmüştür. Pürüzlü emicili kollektördeki hava sıcaklığı gün içerisinde 40°C 'yi geçtiği değerlerde kollektörün verimi %61 olarak gözlemlenmiştir.

Bhattacharyya vd. (2017), yaptıkları çalışmada; ekstrüzyonlu kanatlı plakalı havalı güneş kolektörünün çeltik kurutma uygulamaları için performansını incelemişlerdir. Kollektörden çıkan havanın sıcaklığı kanat sayısının artmasıyla öncelikle arttığı sonrasında ise azaldığı ve kanat sayısı ile basınç düşüşünün arttığı görülmüştür. Guwahati şehri hava koşullarında Çeltik kurutma uygulamaları için en iyi sonucu 80 kanatlı, ve 2 mm kanat kalınlığına sahip hava ısıtmalı güneş kolektörünün verdiği gözlemlenmiştir.

Sancar (2017), yaptığı çalışmasında havalı güneş kolektörlerini farklı tasarımlarla (2 seri ve 1 paralel, 4 paralel ve 4 seri, 2 paralel ve 1 seri) oluşturarak kolektör gruplarının ısı verimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan ölçümlerde kolektörlerdeki ısı performansın hava debisi, güneş ışıınımı, ve bağlantı tasarımı ile değiştiği görülmüştür. Hava debisinin ve güneş ışıınının yüksek olduğu noktalarda kolektörlerdeki ısı verimin de yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kollektör tasarımlarına göre, 7,5m/s hava akış hızında günlük ortalama kolektör verimi en yüksek olan (%82) 2 seri 1 paralel şeklindeki güneş kolektörü olmuştur. Paralel olarak bağlanan güneş kolektöründe çıkış sıcaklığı çok fazla değişmemekle birlikte kolektörün kapladığı alan arttığı için sistem veriminde azalma olduğu görülmüştür. Kollektörler arasında en uygun bağlantı şeklinin seri bağlantı olduğu, paralel bağlantının panelin verimine fazla bir katkısının olmadığı gözlemlenmiş ve uygun hava akış hızının 7.5m/s olduğu belirlenmiştir.

Battal (2017), tololit tuğlalarını laboratuvar şartlarında havalı güneş kolektöründe kullanılarak ısı verimleri araştırılmıştır. Dolomit tuğlaları kolektör içerisine, alan yoğunluğu, ısı transferi, ve toplam ısı aktarma hızını arttırmak amacıyla farklı geometrik sırada ve sayılarda 5 farklı tasarım ile yerleştirilmiştir. Kollektör testleri kontrollü olarak yapabilmek için güneş simülatörü kullanılmıştır. Kollektör yüzeylerine gelecek ışıınım şiddetleri (500, 750 ve 1000W/m²) güneş simülatörü kullanılarak uygulanmıştır. Kollektör testlerinde havanın debisi 4,17m/s seviyesinde sabitlenmiştir. Deney sonucuna göre enerji ısı verim değerleri en yüksek olanlar sırasıyla 5T (beş sıralı 15 dolomit tuğlalı) ve 4TD (dört sıralı T tipi 12 tuğlalı) tasarımlı kolektörlerde ulaşılmıştır. Dolgu malzemesinin kullanımı sonucunda kolektör veriminin %18 oranında arttığı görülmüştür.

Chaichan (2018), Irak'ın Bağdat şehrinde bölgenin iklim şartlarında tasarımını yaptıkları güneş enerjili hava ısıtıcısını iki farklı ana bölümden oluşturdular. Yatay yüzeyi siyah renkli demir yonga ile doldurulurken, dikey yüzeyi de parafin balmumu ile

eklenmiş beş borudan oluşturuldu. Havanın çıkışına fan yerleştirilip deneyde havanın doğal taşınımı ve zorlanmış taşınım durumları incelenmiştir. Deney sonucunda enerji kullanımı sınırlı bir rakama düşerek, sıcaklıktan kazanç sağlanmıştır. Bu şekilde Irak’da bulunan evlerini ısıtabilecekleri sonucuna varılmıştır. Yapılan bu sistem ile kış aylarında yakıt tüketimini ve elektrik miktarını azaltmayı hedeflemişlerdir.

Kılıç (2018), yaptığı çalışmada; güneş enerjisinden faydalanarak tarım ürünlerini kurutmak amacıyla Konya ili iklim şartlarında yutucu plakaları farklı olan üç (3) adet düzlemsel havalı güneş kolektörü tasarlanarak performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada yutucu plakanın yüzey şekli trapez profil şekline getirilerek plakalara dikdörtgen ve kare profilde kanatlar eklenmiştir. Oluşturulan bu farklı kollektör tasarımları farklı debilerde (0,022 0,033 ve 0,044kg/s) test edilmiştir. 0,022kg/s hava debisi için kollektöre giren havanın sıcaklığındaki artış miktarın en yüksek 44°C ile Model 4 kollektörü, en düşük olan değer ise 0,044kg/s hava hızında 7°C ile Model 1 kollektöründe ölçülmüştür. Model 4 için kollektörde meydana gelen günlük ortalama sıcaklık artışı miktarları 0,022kg/s, 0,033kg/s ve 0,044kg/s hava debileri için sırası ile 34°C, 24°C ve 19°C olarak ölçülmüştür. Deney sonucunda tüm hava debilerinde; Model 1-2-3-4 havalı güneş kollektörleri için ortalama ısı verimleri sırayla 0,52 0,55 0,60 ve 0,65 şeklinde bulunmuştur.

Tuncer (2018), yaptığı çalışmada poroz yüzeye sahip havalı güneş kolektöründe enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Üç farklı deney düzeneği hazırlamıştır. İlk tasarımında emici yüzeye herhangi bir madde serilmeden sade bir yüzey kullanılmış, ikinci düzeneğinde emici plakanın üzerine bakırdan oluşan elektrik teli konulmuş ve üçüncü düzenekte ise emici yüzeye bakır yünü konularak deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneyde 0,03 - 0,035 – 0,044 ve 0,055kg/s kütleli debilerde hava kullanılmıştır. Düzey yüzeye sahip kolektörlerde 0,035kg/s kütleli debi için oluşan maksimum ısı verim %50; 0,044kg/s kütleli debi için oluşan maksimum ısı verim %68 olarak bulunmuştur. Bakır elek teli konulan kolektör için 0,035 kg/s kütleli debi değerinde oluşan maksimum ısı verim %58; 0,044kg/s kütleli debi değerinde oluşan maksimum ısı verim ise %77 olarak bulunmuştur. Emici yüzey üzerine serilen bakır yünlü kolektörün, 0,035kg/s kütleli debide oluşan maksimum ısı verim %57; 0,044kg/s kütleli debide oluşan maksimum ısı verim ise %73 olarak tespit edilmiştir. Kolektörler için termal-hidrolik verim değerleri ise %20- %70 arasında olduğu tespit edilmiştir. Deneysel verilere göre hesaplanan ekserji verimlerine bakıldığında %2 -%11 arasında olduğu gözlemlenmiştir.

İslam (2018), yaptığı çalışmada; yoğunlaştırılmış ısı depolu ve havalı bir güneş kolektörü tasarımını yaparak analizlerini deneysel yöntemlerle incelemiştir. Havalı güneş kolektörü için paraffin waxa ısı enerjisi depolanmış ve sistemde mevcut olan PV modüller ile de bataryada depolanmış olan elektriksel enerji sayesinde sistemdeki fanının çalışması sağlamıştır. Sistemdeki performansın tespitine yönelik deneyler, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu kış aylarında yapılmıştır. Deneyin sonucunda havalı güneş kolektörlerinin, yoğunlaştırıcının kullanmasıyla beraber veriminin %85'e çıktığı, yoğunlaştırıcının kullanılmadığı sistemde ise verimin %50'lerde olduğu görülmüştür.

Külcü ve Emen (2019), çalışmalarında laboratuvar ortamında farklı şekildeki dolgu malzemeleri seçilerek hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinden alınacak ısı verim değerinde artış planlanmıştır. Yapılan çalışmada dolgu malzemesi tercihi olarak; andezit taşı, demir talaşı ile metal bulaşık teli tercih edilmiştir. Laboratuvar şartlarında kullanılan dolgu malzemeleri farklı hava hızlarında (0,6 - 0,9 - 1,2 - 1,8 ve 2,4m/s) ve sabit ışınlam şiddetinde (1000W/m²) testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda kullanılan dolgu malzemeleri arasında 2,4m/s hava hızında verimi en yüksek olan (%68) malzemenin andezit taşı olduğu gözlemlenmiştir.

Efe (2019), yaptığı çalışmada çift geçişli kanalın içerisine alüminyum teneke kutuların yerleştirildiği ve kapsüllerinden yapılmış yutucu plakanın konulduğu (küresel faz değiştiren madde FDM) bir düzlemsel havalı güneş kolektörünün verimini incelemiştir. Deneysel çalışmada farklı iki tipte yutucu plaka tasarlanarak ve test edilmiştir. Birinci tipte, teneke kutular yutucu plaka üzerinde zikzaklı olarak dizilmişken, ikinci tipte ise sıralı şekilde dizilmiştir. Deneyler, 0,03kg/sn ile 0,05kg/sn'lik kütleli hava debileri altında yapılmış olup en yüksek verim değeri 0,05kg/sn'lik kütleli hava debisi ile birinci tipteki tasarım için elde edildiği görülmüştür.

Üçler (2019), yılında yaptığı çalışmada bazalt taşları ile su ve FDM olarak parafin wax kullanılıp, güneşten gelen enerjiyi termal enerjiye çevirerek depolayan ısı deposunun tasarımını yapmıştır. Isı deposu için güney cepheden gelen güneş ışığını direk alacak şekilde cam örtü kullanılıp, güneş ışınlamının taşlara temasını ısı deposuna performansı incelenmiştir. Taşların sıcaklığı güneşin temas etmediği durumda maksimum olarak 46,6°C ölçülürken, taşlara güneş direkt temas ettiği durumda ise maksimum 56,8°C sıcaklık elde edilmiştir. Bu şekilde ısı deposunda %11,7 oranında daha fazla enerji depolanabilmektedir. Faz değiştiren madde ile oluşturulan ısı deposunda ise %9,9 oranında daha fazla enerji depolandığı gözlemlenmiştir.

Şevik ve Abuşka (2019), yapmış oldukları çalışmalarında esnek alüminyum kanallardan oluşturulmuş bir havalı güneş kolektörünün camlı ve camsız durumlarında sistemde oluşacak performansa olan etkilerini incelenmiştir. Sisteme 0,013, 0,03 ve 0,044kg/s üç farklı kütleli debilerde hava verilmiştir. Deney sonucunda camlı kolektörde verimin (%85) daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum kanallardan oluşmuş havalı güneş kolektörünün 0,044kg/s debide diğer kolektöre göre %15.9 - %41.2 aralığında veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Altunsoy (2019), çalışmasında; boyutları ve yapı malzemeleri aynı olan fakat akış modelleri birbirinden değişik 3 düzlemsel havalı güneş kolektörü dizayn etmiştir (M1, M2, M3). Konya iklim şartlarında güneş kolektörlerinin deneyleri yapılmış ve her birinin ısı performans analizleri incelenmiştir. Yapılan deneyde havanın artan kütle debisine bağlı olarak güneş kolektörünün giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkının azaldığı görülmüştür. M1, M2 ve M3 güneş kolektörleri için 0,021kg/s kütleli debide havaya ait maksimum sıcaklık farkları sırayla 34°C, 37°C ve 52°C olarak ölçülmüştür. Hazırlanan güneş kolektörlerinin düşük ve orta sıcaklıklarda binaların ısıtma sistemlerinde ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Hava sıcaklığındaki maksimum artış miktarı 0,021kg/s hava debisinde ve 1.100W/m² ışıyım değerinde M3 güneş kolektörü için 52°C olarak tespit edilmiştir. En yüksek anlık ısı verim ise aynı ışıyım değerinde M3 güneş kolektörü için 0,035kg/s kütleli hava debisinde %78 olarak bulunmuştur.

Emen (2020), yaptığı çalışmada; hava ısıtmalı bir güneş kolektörünün dolgu malzemeleri kullanılarak verim artışını incelemiştir. Dolgu malzemesinin seçiminde; demir talaşları, andezit taşı ve metal bulaşık telleri seçmiştir. Güneş kolektörü olarak 110×80×10 cm ebatlarında galvanizli sac malzemeden yapılmış kolektör kullanılmıştır. Kullanılan dolgu malzemeleri laboratuvar şartlarında farklı 5 alansal debi ile test edilmiştir. (0,67kg/dk. m², 1,01kg/dk. m², 1,34kg/dk. m², 2,01kg/dk. m², 2,69kg/dk. m²). Deney sonucunda dolgu malzemeleri içerisinde en yüksek verimin 2,69 kg/dk. m² alansal debide andezit taşı kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. Andezit taşından hemen sonrada sırasıyla metal talaş ile metal bulaşık teli olduğu görülmüştür.

Darıcı (2020), zorlanmış taşınım, tek geçişli, bir havalı güneş kolektörü için Konya ili iklim şartları için deneyler yapılarak verim analizlerini incelemiştir. Farklı 3 (üç) kütleli debi için (0,023, 0,046 ve 0,069kg/s), açık hava koşullarında ve farklı günlerde ve deneyler yapılmıştır. Güneşten gelen ışıyımlar, havanın kolektördeki giriş

çıkış, yutucu plaka sıcaklıkları ile cam örtü ve kollektör ısı verimi belirli saatlerde ölçümler yapılarak değişimleri incelenmiştir. Havanın güneş kollektöründen çıkan ortalama çıkış sıcaklığı 0,023 kg/s debi değeri için 52,5°C, 0,046kg/s debi değeri için 43°C ve 0,069kg/s debi değeri için 40°C olduğu görülmüştür. Deney sonucunda kütle debisinin artış ile kollektörden çıkan havanın sıcaklığının düştüğü, kollektördeki ısı verim değerinin ise yükseldiği gözlemlenmiştir.

Abdullah vd. (2020), yaptıkları çalışmada havalı bir güneş kollektörüne aliminyum kutuları belirli bir düzende yerleştirerek boş kollektöre göre 0,02 ile 0,05kg/s kütledebilerde performans ve verim karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda aliminyum kutulu havalı güneş kollektörünün maksimum verimi 0,05kg/s kütledebide yaklaşık olarak %73,4 olduğu tespit edilmiştir.

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kollektörleri günümüzde genellikle düşük ve sıcak su ısıtılması ile tarım ürünlerinin kurutulması alanlarında sıkça kullanılmaktadır. Güneşten aldığı iç enerjiyi ısı enerjisine dönüştüren ısı değiştiricisi vazifesi gören cihazlardır. Kollektörler güneşten gelen güneş ışığını alarak ısıya çevirir ve bu ısıyı da kollektör tipine göre bir akışkana (su, hava, gaz vb.) taşınım ve iletim yoluyla aktarır. Akışkana aktarılan bu enerji ile de amaçlanan ısı ihtiyacı (ısıtma veya kurutma) karşılanmış olur.

Güneş kollektörleri literatürde farklı türlerde gruplanmakla beraber genel de sabit (odaklanamayan) ve yoğunlaştırılmalı (odaklanabilen) güneş kolektörleri olarak 2 farklı türde isimlendirilirler. Güneş ışığını odaklama mantığına göre çalışan bu sistemler ihtiyaç duyulan çalışma alanlarına göre tercih edilmektedirler. Sabit (odaklanamayan) güneş kollektörleri, güneş ışığını odaklamadan sabit ve düzlemsel yapıda olan yüzeyleriyle ısı enerjisi elde ederler. Akışkanın alabileceği sıcaklık değeri genelde 100°C 'yi geçmemektedir. Yoğusturmalı (odaklanabilen) güneş kollektörlerinde ise içbükey yapıdaki tasarımları sayesinde güneş ışığını belli bir noktada toplayarak çok yüksek sıcaklık değerlerini elde edebilirler. Ancak bu tip kollektörleri çalışabilmesi için sürekli güneş ışığını görmek zorundadırlar.

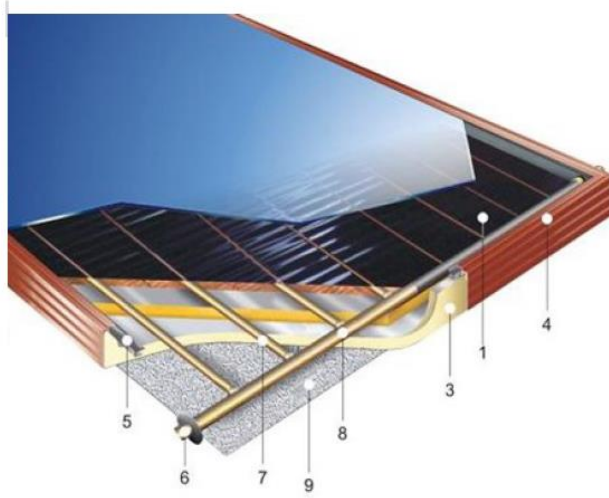
3.1. Sabit (Odaklanamayan) Güneş Kollektörleri

Bu tip kollektörler, güneşin hareketini takip etmeyen, sabit eksenli yapıdan oluşan ve bulunduğu coğrafyaya göre belli bir açıda konumlandırılmış güneş kollektörleridir. İki farklı kategoride incelenmiştir.

3.1.1. Düzlemsel güneş kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneşten almış olduğu enerjiyi hava veya sıvı benzeri bir akışkana ısı enerjisi şeklinde iletebilen güneş enerjisi sistemleridir. Genel olarak bu güneş kollektörleri konutlarda sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kollektörleri, cam malzemeden yapılmış üst örtü, yutucu plaka ile cam arasındaki boşluk, özel alaşımlardan veya metal malzemelerden yapılmış yutucu plaka, yan, arka ile alt kısımlara yerleştirilmiş yalıtım malzemeleri ve tüm bunları içinde

barındıran bir kasadan oluşmaktadır Battal (2017). Düzlemsel güneş kollektörü ve kısımları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir Muhtaroğlu (2012).



1. İç panel
2. Üst örtü
3. İzolasyon
4. Kasa
5. Cam fitili
6. Manifold contası
7. Taşıyıcı boru
8. Manifold borusu
9. Taban sacı

Şekil 3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörü ve Kısımları

Düzlemsel güneş kollektörleri bulunduğu konumun enlemine göre büyük miktarda güneş enerjisini alabilecek şekilde belirli açılarda konumlandırılmaktadır (Uyarel ve Öz 1987). Akışkanın seçiminde dikkat edilmesi gereken husus, ısıtma sistemindeki kullanımın amacıdır. Bu amaç, konutların ısıtılması veya kurutma şeklinde ise hava akışkanlı kollektörler, endüstriyel veya evsel sıcak su ihtiyacı ise sıvı akışkanlı güneş kollektörleri kullanılır. Yüksek sıcaklık uygulamaları için suyun yerine akışkan olarak daha iyi ısı transferi sağlayan yağlar da tercih edilmektedir (Sandal 2006).

Düzlemsel güneş kollektörleri en çok tercih edilen kollektör tipidir. 100°C'ye kadar olan uygulamalarda enerji sağlama noktasında en uygun ve ekonomik olan kollektör çeşididir. İmal edilmesi diğer tip kollektör çeşitlerine göre daha kolaydır. (Sandal 2006). Düz plaka yapısına sahip bu kollektörler güneş takip sistemi ile bağlantıları yapılamadıklarından dolayı belirli yönde ve açıda sabit bir vaziyette sabitlenmeleri gerekmektedir. Bundan dolayı geliştirilen hesaplamalara göre;

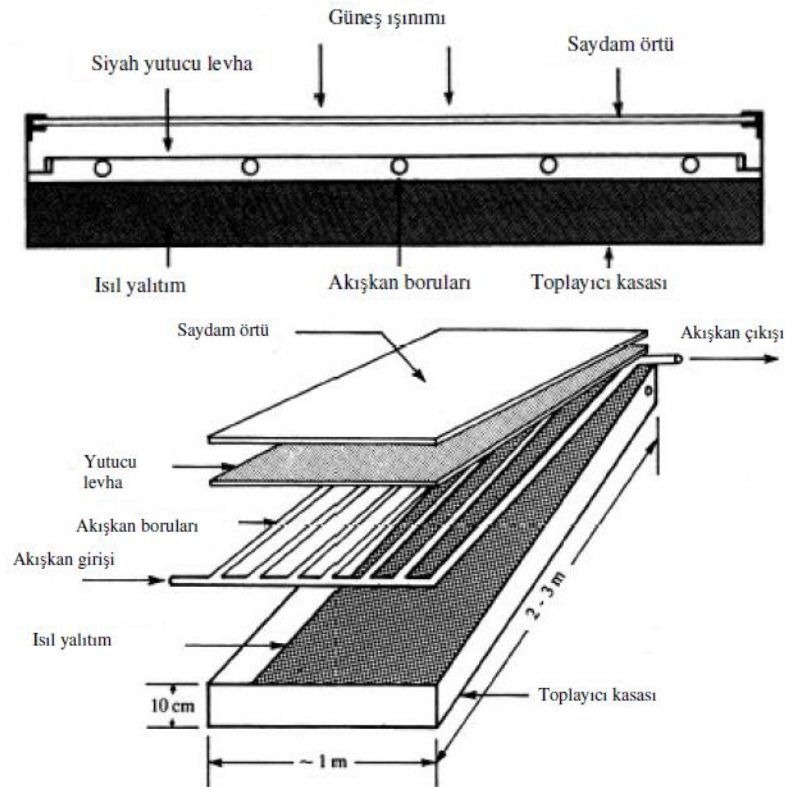
* Düzlemsel Kollektörler direk Ekvator'a doğru, Kuzey Yarımküre için güneye ve Güney Yarımkürede ise kuzey yönüne bakmalıdır.

* Kollektörün en uygun eğim açısı, uygulamalara göre 10° ila 15° den fazla veya az açı değerlerinde yerin enlemine eşitlenir.

Bu şekilde uygulamalar için hızlı bir işlem yapma imkânı da elde edilmiş olur (Öztürk 2012). Yaygın olarak kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri sıvı akışkanlı ve hava akışkanlı güneş kolektörleri olarak iki sınıfta değerlendirilmektedir.

3.1.1.1. Sıvı akışkanlı güneş kolektörleri

Günümüzde düzlemsel güneş kolektörleri en sık tercih edilen güneş kolektörleridir. 100°C 'a kadar olan enerji uygulamalarında tercih edilen en uygun ve ekonomik kolektör türüdür. Diğer kolektörlere göre modellenmesi ve imal edilmesi daha kolay kolektörlerdir (Reddy 2001). Bu tip Güneş kolektörlerinde taşıyıcı akışkanın sıvı olarak seçilmesinin amacı, ısı kapasitesinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle enerji transferi maksimum seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır. Sıvı akışkanlı güneş kolektörleri genelde konutlarda sıcak su üretimi ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. İmal edilmesi ekonomik nedenlerden dolayı diğer çeşitlere göre daha kolaydır (Altunsoy 2020). Güneşten alınan ısı enerjisinin kolektörde bulunan sıvı akışkana aktararak genelde sıcak su üretimi amacıyla kullanılan kolektörlerdir. Farklı geometrik ve yapısal özelliklerine göre çeşitleri mevcuttur. Sıvı Akışkanlı Düzlemsel Güneş Kolektörü Şekil 3.2.'de gösterilmiştir (Reddy 2001).

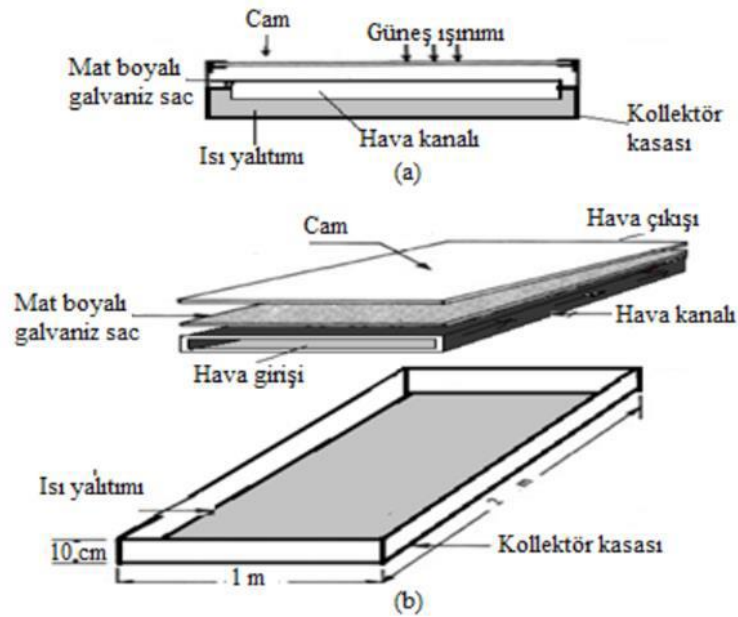


Şekil 3.2. Sıvı Akışkanlı Düzlemsel Güneş Kolektörü.

3.1.1.2. Hava akışkanlı güneş kollektörleri

Hava akışkanlı güneş kollektörleri genelde yutucu plakanın, güneşten aldığı enerjiyi, akışın geçtiği kanalından geçen, ısı transfer aracı olarak seçilen havaya aktaran bir sistemdir. Hava akışkanlı kollektörde ısınan hava istenirse direk kullanılabilir veya depolama amacıyla da kullanılmaktadır (Uyarel ve Öz 2003).

Güneş kollektörlerinde akışkan olarak kullanılan hava, suya göre ısı transfer katsayısı daha az olduğundan dolayı verimi sıvı akışkanlı güneş kollektörlerine göre daha düşüktür. Hava ve sıvı akışkanların termofiziksel özelliklerinin farklı olması kollektörlerde de bazı avantaj ve dezavantajlar meydana getirirler (Bayrak 2011). Klasik ısı değiştiricileri arasında Havalı Güneş kollektörleri birçok yönden değişiklikler göstermektedir. Klasik yapıdaki ısı değiştiricisinde bir akışkandan diğer bir akışkana olan çok yüksek miktardaki ısı transferi taşınım ve iletim yolu ile yapılır. Havalı güneş kollektörlerine bakıldığında ise enerji aktarımı uzak mesafedeki enerji kaynağından ışıınım yoluyla enerji kaynağından hava doğru gerçekleşir. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) standartları. Güneşten alınan enerjinin kollektörde bulunan yutucu plaka tarafından ısı enerjisine dönüştürülmesi mantığına dayanmaktadır. Akışkan olarak havanın kullanıldığı bu kollektörler genelde tarımsal ürünlerin kurutulması veya binaların ısıtılması alanlarında tercih edilmektedir. Havalı güneş kollektörünün kesit görünümü ve kullanılan parçalar aşağıdaki Şekil 3.3.'de gösterilmiştir (Sancar ve Bulut 2014).



Şekil 3.3. Havalı güneş kollektörünün kesiti ve açılmış görünüşü

Şekil 3.3' deki gibi en üstünde bulunan geçirgen yapıdaki örtü dışında bütün kollektör parçaları, ısı kayıpların minimuma indirmek için, yalıtılmış olması önemlidir. Hava ısıtılmalı güneş kollektörlerinde ısı verim, sıvı akışkanlı güneş kollektörlerine göre daha azdır. Bunun nedeni ısı transfer elemanı olarak suyun, havadan çok daha iyi ısı aktarımı yapmasıdır (Uyarel ve Öz 2003).

Bu kollektörlerin ısı verimlerin artırılması amacıyla farklı türlerde yutucu yüzey ile hava akış kanalları geliştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Farklı tasarımlar ile beraber kollektör içerisine farklı dolgu malzemeleri yerleştirilerek de ısı verimin artırılması çalışmaları yapılmaktadır (Emen 2020). Bu tür kollektörlerin yapımında çok farklı dolgu malzemeleri kullanılabilir. Bu dolgu malzemeleri kollektör hava akış kanalına cam parçaları, ızgara taşı gibi çeşitli dolgu malzemeleri koyulabilmektedir. Dolgu malzemesi kullanılmasının nedeni hava akış kanalı boyunu ve havanın kollektör içinde kaldığı süreyi uzatmasıdır. Bu sayede kollektör giriş ve çıkış havası arasındaki fark artmakta ve bu durum verim değerini de direkt etkilemektedir (Özbalta 2003). Hava ve sıvı akışkana sahip kollektörlerin kıyaslanması Tablo 3.1.'de gösterilmiştir (Sandal 2006).

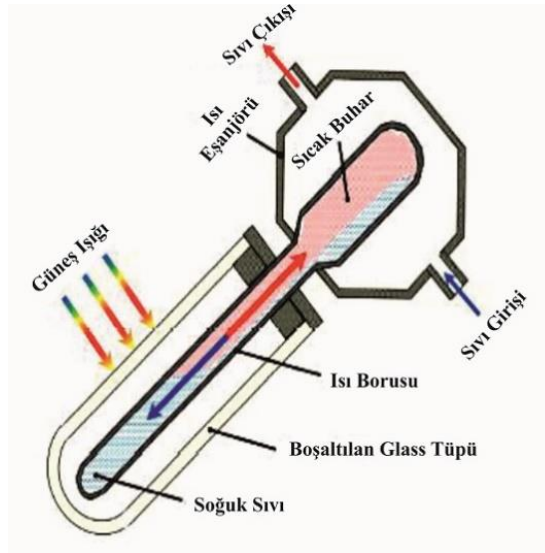
Tablo 3.1. Hava ve Sıvı Akışkanlı Kollektörlerin Karşılaştırılması.

Özellik	Sıvı Akışkan	Hava
Verim	Verilmiş sıcaklık farkında hava akışkanlı toplayıcıya göre daha verimlidir.	Sıvı akışkana göre biraz daha düşük verimde çalışırlar.
Sistem	Kullanım sıcak suyu ve soğutma sistemleri ile birleştirilebilirler.	Soğutma sistemine kolaylıkla birleştirilemez fakat kullanım sıcak suyunun ön ısıtmasında kolaylıkla kullanılabilir.
Donma Koruması	Maliyeti arttırıp verimi düşüren antifriz ve ısı değiştiricileri kullanımı gerektirebilir	Gerek yoktur.
Bakım	Sızdırma, korozyon ve kaynamaya karşı önlemler alınmalıdır.	Düşük bakım ihtiyacı, kaçaklar tamir edilebilir fakat kaçağın yerini bulmak zordur.
Montaj Hacmi	İzole edilmiş borular en küçük hacmi kaplayacaktır ve mevcut yapılara kurulabilecek en uygun sistemdir.	Hava kanalları ve ısı depo olarak kullanılan taş yatakları çok yer kaplayacaktır.
İşletme	Sıvıları pompalamak daha az enerji gerektirir.	Havayı hareket ettirmek daha çok enerji gerektirir ve gürültülü bir iştir.
Maliyet	Toplayıcılar maliyetlidir.	Isı depolama maliyetlidir.

Havalı güneş kolektörlerinin sıvı akışkanlı güneş kolektörlerine kıyasla en büyük avantajı korozyon ve donma tehlikesinin oluşmamasıdır. Fakat hava, su gibi çok fazla ısı enerjisi toplayamamaktadır. Sistemdeki kanal çaplarının büyütülmesi ile sıvı akışkanlı güneş kolektörlerinin transfer edeceği aynı miktar enerjiyi toplamak mümkündür. Binaları ısıtmak amacıyla havalı güneş kolektörleri kullanıldığında, havanın ısıtılmasıyla doğrudan binaya pompalanmaktadır. Sıvı akışkanlı ısıtılma işleminde ise ısınan havadaki enerji eşanjöre aktarılarak eşanjörün içindeki su ısıtılmaktadır. Isınan bu su da pompa vasıtasıyla ile boylere gönderilmekte ve kullanıma sunulmaktadır. Eşanjörden çıkan hava vantilatör vasıtasıyla tekrar kolektöre gönderilerek sistem tamamlanmaktadır (Sayın 2006).

3.1.2. Vakumlanmış tüplü güneş kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörleri, dört mevsim güneş ışınlarından yüksek verimle çalışan sistemlerdir. Düzlemsel kolektörlü sistemlerden alınan verimden daha çok verim alınan bu kolektörler, iç içe geçmiş iki borudan meydana gelmektedir. Kolektör dışında bulunan saydam cam boru ile içindeki siyaha boyanmış borunun arasında vakum yapılmıştır. Bu şekilde ısı transferi sırasındaki ısı kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Kolektör cam tüplerin yan yana dizilmesiyle meydana gelmektedir. Dairesel şekilleri sayesinde gün boyunca güneşi dik açığa yakın alarak yüksek verimlilik elde edilir. Tüplerin her biri bağımsız çalışabilmesinin yanında, ömürleri de 15 yılın üzerindedir. (Köse 2014). Bu tip yapılarda vakum yapılı cam borular, emici yüzeyine gelen enerji miktarını artırmak amacıyla cam ya da metal yansıtıcılar tercih edilir. Bu yansıtıcıların sıcaklık çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğundan (100°C -120°C) dolayı düzlemsel yapıdaki kolektörlerden daha çok kullanılma alanları vardır (Şener 2013). Isı Borulu Güneş Kolektör Şeması Şekil 3.4.'de gösterilmiştir (Suman 2015).

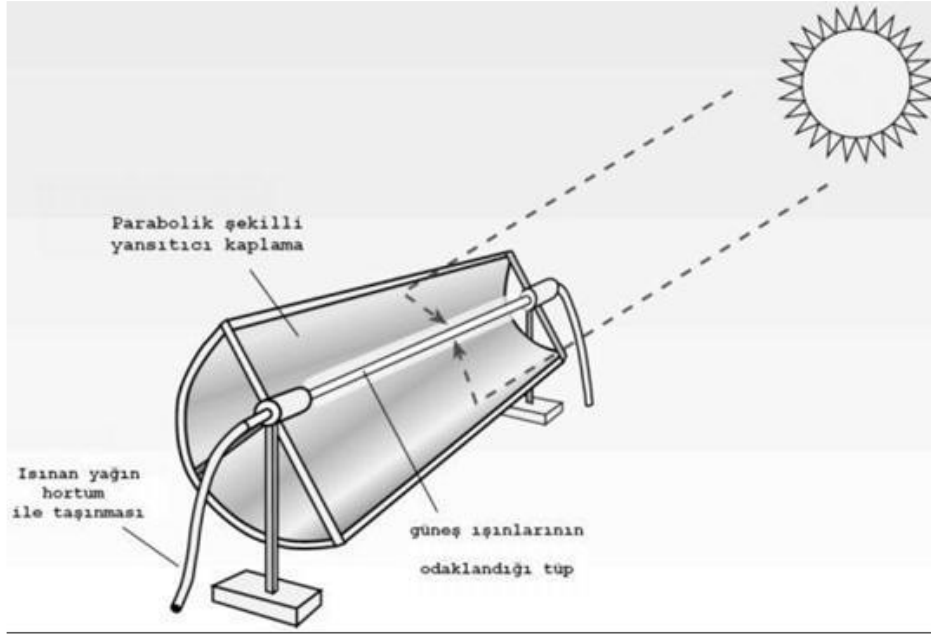


Şekil 3.4. Isı Borulu (Vakumlanmış Tüplü) Güneş Kollektör Şeması

Vakumlanmış borulu kollektörlerinde akışkan olarak sıvı buhar kullanılır. Kollektörlerdeki vakum sızdırmaz tüpün içerisinde ısı borusu yer alır. Bakırdan oluşan bu boru, siyah bir yüzeye kaplanmıştır. Diğer tüpten dışarıya çıkarılan ve sızdırmazlık borusu yardımıyla birleştirilen metal kısım ise kondenserdir. Isı boruları, buharlaştırıcıya ve yoğunlaştırıcı uğrayan akışkanın az bir miktarını içerir (Özgen 2007).

3.2. Yoğunlaştırmalı (Odaklanabilen) Güneş Kollektörleri

Odaklanabilen bu kollektörler Güneş ışınlarını merkezleştirme yaparak enerji üreten ve yapısal olarak da iç bükey ayna şeklinde olan kollektörlerdir. Silindir ya da konik yapıda olanların ise kesitleri iç bükey şeklindedir. Gerekğinde merkezleştirme yapmak amacıyla merceklerden faydalanılır. Fakat geniş çaplı sistemler için verim sağlanamaz. Güneş radyasyonu ile yutucu yüzey arasına optik bir alet konularak radyasyonun önemli bir kısmı küçük bir bölgede yoğunlaştırılabilir. Bu şekilde daha yüksek sıcaklıklara çıkılabilir (Efe 2019). Şekil 3.5.'de odaklanabilen çanak kollektörünün genel yapısı gösterilmiştir (Kalogirou 2004).



Şekil 3.5. Odaklanabilen Çanak Kollektörü Genel Yapısı.

3.2.1. Parabolik çanak güneş kollektörleri

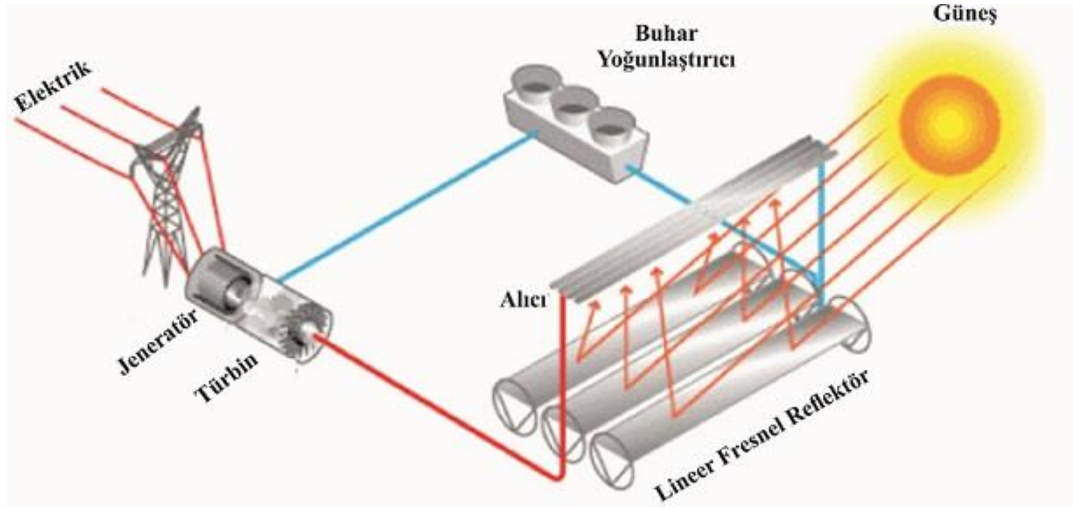
Parabolik çanak yapıdaki bu kollektörler Güneşi iki farklı çizgide takip edebilen ve çanağın odak noktasındaki alıcıya güneş enerjisini yoğunlaştırabilen noktasal odağa sahip bir güneş kolektördür. Bu yapıdaki yansıtıcılar güneşten gelen ışınları ısı alıcıya yansıtmak amacıyla güneşi sürekli olarak takip etmeleri gereklidir (Hatipoğlu 2019). Parabolik çanak kollektör sistemleri; toplayıcı (absorbe), yansıtıcı ve motordan oluşan bir yapıdadır. Güneşten gelen ışınlar, çanak yapıdaki bir yüzey tarafından toplayıcı şeklindeki yüzeyin üzerine nokta şeklinde toplanması şeklindedir. Alıcı olan yüzeyde toplanan bu enerji termal enerjiye çevrilerek ısı enerjisi veya bir motor içindeki çalışma akışkanına gönderilerek kullanılır (Efe 2019). Bu tip kollektörler sistemlerinde enerjiyi alan kısım, aldığı ısı enerjisini içinde dolaşan sıvıya aktarır. Daha sonra ısı enerjisi direk alıcıya bağlı olan bir jeneratör yardımıyla elektriğe çevrilebilir veya merkezi yapıdaki güç dönüşüm sistemine borular yardımıyla taşınabilir. Bu sistemlerde sıcaklık değerleri 1.500°C 'nin üstündeki değerlere ulaşabilir (Kalogirou 2004). Parabolik çanak toplayıcısının genel yapısı Şekil 3.6.'da gösterilmiştir (Hatipoğlu 2019).



Şekil 3.6. Parabolik Çanak Toplayıcısının Şematik Gösterimi.

3.2.2. Lineer fresnel reflektör güneş kollektörleri

Lineer Fresnel Reflektör güneş kollektörleri bir kule üzerine monte edilen sabit bir alıcıya ışığı odaklayan birden çok doğrusal aynalardan oluşan bir sistemdir. Fresnel yansıtıcıyı parçalara ayrılmış parabolik oluk yansıtıcı şeklinde benzetebiliriz. Fakat olukların parabolik bir şekilde olması gerekmez. Büyük emiciler tasarlanabileceği gibi emicinin hareket etmesine de gerek yoktur. Bu şekildeki sistemlerin avantajı diğer parabolik cam yansıtıcılara göre maliyeti daha az olan elastik veya düz eğimli yansıtıcıların tercih edilmesidir (Hatipoğlu 2019). Bu tip sistemler; düz veya hafif kavisli aynaların monte edilmesi ile oluşmuştur. Yerdeki izleyiciler, güneş ışığını aynaların üzerindeki boşluğa sabitlenmiş alıcı tüpe yansıtırlar. Fresnel tipi güneş kollektörleri fotovoltaik teknolojilerde de kullanılmaktadır. Lineer Fresnel Reflektör Güneş Kollektörlerinin şematik yapısı şekilde gösterilmektedir (Bostan 2013). Şekil 3.7.'de Lineer Fresnel Reflektör Güneş Kollektörünün genel yapısı gösterilmiştir (Guney 2016).

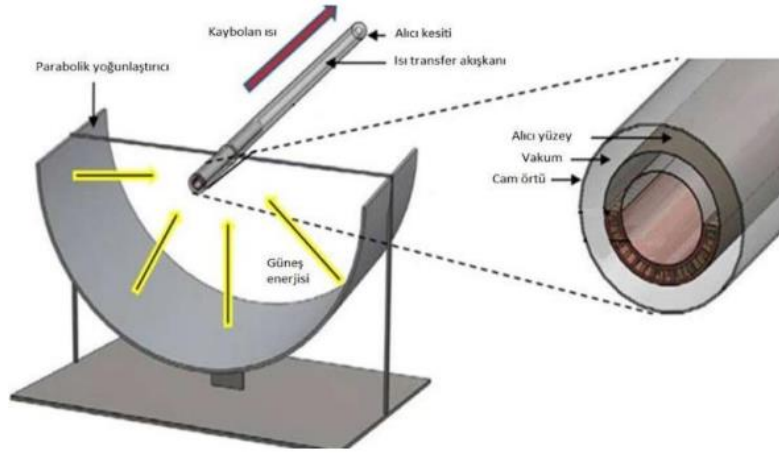


Şekil 3.7. Lineer Fresnel Reflektör Şematik Gösterimi.

3.2.3. Parabolik oluk toplayıcı güneş kolektörleri

Bu tip sistemlerde güneşten gelen ışınlarını yansıtıcı yüzey aracılığıyla parabolik oluk yapıdaki güneş kolektöründeki odak noktasında bulunan alıcı ile boruya yansıtıp yoğunlaştırma yapmaktadır. Sistemde Odaklama eksenini boyunca montelenmiş emici borunun içinden geçen akışkan, emilen bu enerji ile beraber sıcaklığın yükseltilmesini sağlar. Parabolik olarak tasarlanan yansıtıcı yüzeyler, güneşten gelen ışınları odak ekseninde bulunan ve bu eksen boyunca devam eden emici boruya yansıtır. Emici borunun üzerindeki bu enerji, boru içerisindeki akışkana aktarılarak akışkanın sıcaklığı yükseltilmiş olacaktır. Parabolik oluk toplayıcı tipi güneş kolektörlerinde sıcaklık değerleri 300°C ve üzeri sıcaklık seviyelerine çıkılabilir (Şanlı 2010). Parabolik oluk güneş kolektörleri, Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi yansıtıcı özellikli bir malzeme tabakasının şeklini parabolik şeklinde bükerek tasarlanır. Sistemdeki ısı kayıplarını en aza indirmek amacıyla cam boru ile kaplı olan metal siyah tüp, alıcıdaki odak çizgisine monte edilir. Parabol yansıtıcının yönü güneşe doğru çevrildiğinde, yansıtıcıya ulaşan paralel ışınlar alıcı tüpün üzerine yansıtılır. Bu sistemde Güneşin tek bir ekseninde izlenmesi yeterli olacaktır. Bundan dolayı uzun olan kolektör modülleri imal edilir. Parabolik oluk güneş kolektörleri etkili bir ısı üretebilmeleri 50°C – 400°C arasındaki sıcaklıklarda olmaktadır (Kalogirou 2004). Parabolik oluk şeklindeki güneş kolektörleri, odak eksenini doğrultusuna yerleştirilen emici borunun içindeki akışkan, emilen bu enerjiyi kendi bünyesine alıp sıcaklığını da yükseltir. Yansıtıcı yüzeyler parabolik şeklinde tasarlanarak güneşten gelen ışınları odak ekseninde bulunan ve eksen

doğrultusunca uzanan emici boruya aktarır. Emici boruya gelen bu enerji, boru içerisindeki akışkana aktarılarak akışkanın sıcaklığının arttırılması sağlanmış olur. Şekil 3.8.'deki görselde akışkan borusu ve parabolik kolektör görülmektedir. Bu tip güneş kollektörlerinde yüksek sıcaklık değerlerine çıkabilme imkânı bulunmaktadır (Şanlı 2010).



Şekil 3.8. Parabolik Kolektör ve Akışkan Borusu (Şanlı 2010).

3.2.4. Merkezi alıcı güneş kollektörleri

Merkezi alıcılı güneş kollektörleri, güneşten dünyamıza gelen ışınlamaları 2 ekseninde takip eden ve gelen ışınlamayı yüksekte bulunan kule tepesine yerleştirilen bir ısı değiştiriciye yoğunlaştırıp, ısı enerjisinden elektrik enerjisinin üretilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu tip sistemlerde ışınlamaları yansıtmaya yarayan, güneşi takip eden heliostat isminde çok sayıda aynalar kullanılır. Merkezi alıcılı güneş kulelerinin 30-400MW aralığında enerji üretim potansiyelleri bulunmaktadır. Bu tip sistemlerle sıcaklık değerleri 1.000°C 'nin üzerinde çıkabilmektedir. Diğer çeşit ısı uygulamalara göre çok daha verimli olmasına karşın sistemdeki sıcaklık değeri çok yüksek derecelere çıkabildiği için güvenlik ve emniyet açısından çok dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır (İşler 2018). Şekil 3.9.'da İspanya (Seville)'da bulunan dünyanın en büyük güneş kulesi görülmektedir.



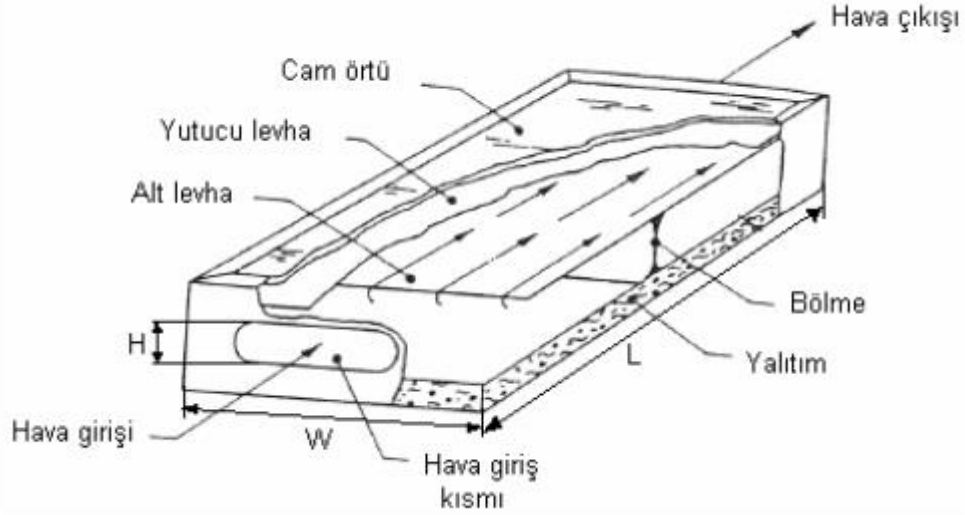
Şekil 3.9. Merkezi Alıcılı Güneş Kolektör Sistemleri (Anonim 2021e)

Bu tip sistemlerde alıcının içerisinde geçen sıcak gaz, ergimiş tuz veya su gibi akışkanın, alıcı içerisinde $500-1.000^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ulaşmasıyla, ısıyı kulinin yanında bulunan güç santraline taşır. Enerji dönüşüm işlemleri gaz veya buhar türbini aracılığıyla sağlanır. Yüksek maliyetleri sebebiyle ticari uygulamalarda parabolik oluk tipi sistemlere göre çok fazla bir yaygınlık kazanamamıştır. Bu tip sistemlerin verimleri çok yüksek olmasıyla beraber güneşin ışınımının azaldığı veya olmadığı durumlarda elektrik üretimi için enerji (ısı) depolamaları çok daha kolaydır (Elibüyük 2015).

3.3. Güneş Kollektörleri Genel Kasa Yapısı

Güneş kollektörleri güneşten gelen ısıyı absorbe edebilmesi amacıyla düzlemsel yapıda bir plaka ve üst kısmına yerleştirilen bir veya daha fazla katmandan oluşan cam malzemeden imal edilmiş veya geçirgen bir örtüden oluşmuş sistemlerdir. Kollektördeki geçirgen örtü dışında kalan kısımlar, enerji kayıplarını azaltmak amacıyla, ısı yayılımı yüksek olan malzemelerden seçilmesi faydalı olacaktır (Tuncer 2018). Güneş kollektöründeki geçirgen örtü tabakası, atmosfere gelen güneş ışınımı kayıplarını azaltıp, güneş ışınlarını da geçirerek düzlemsel levha ile geçirgen örtü arasında bulunan boşlukta kalmasını veya siyah cisim aracılığıyla emilmesini sağlar.

Kollektörde toplanan ısı, daha sonrasında emici yüzey ile geçirgen örtü arasında bulunan kanaldan geçerek akışkana aktarılması sağlanır (Duffie ve Beckman 1991). Güneş kollektörünün genel yapısı Şekil 3.10.'da görülmektedir (Yıldız ve Güngör 2007).



Şekil 3.10. Güneş Kollektörünün Şematik Gösterimi.

Havalı güneş kollektörleri dört ana bölümden oluşur. Bunlar;

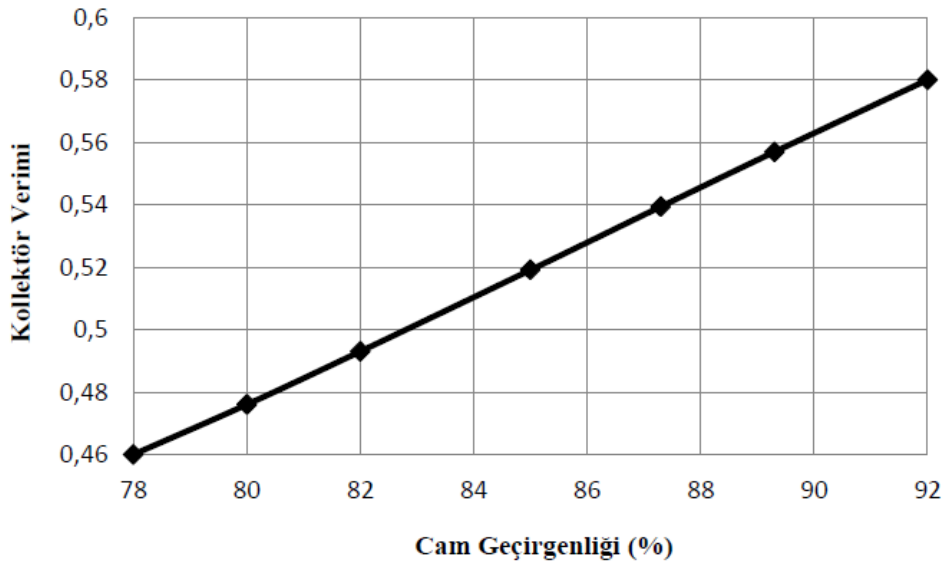
- ✓ Saydam örtü,
- ✓ Emici plaka,
- ✓ Kollektör kasası
- ✓ Kollektör yalıtımı.

Yukarıda belirtilen dört kısım kollektör verimini etkileyen kollektörün en önemli bölümleridir. Bununla beraber havalı kollektörlerde emici yüzeyin kanat geometrisi, kollektörün içine alınan ve çıkan akışkanın miktarı, akışkanın sıcaklığı, akışkanın kollektördeki giriş ve çıkış konumu, akışın takip ettiği yol ve tasarım yapısı havalı kollektörlerde verimi etkileyen önemli diğer hususlardır (Bayrak 2011).

3.3.1. Saydam örtü

Kollektördeki taşınım ile meydana gelen ısıdaki kaybın oluşmasını engellemesi ve emici plakanın dış ortamdan gelebilecek etkenlerden korunmasını sağlayan önemli bir elemandır. Saydam örtüden beklenen fayda, güneşten gelen ışınları minimum kayıpla

geçirmesi ve güneşten gelen kızıl ötesi ışınları da az geçirmesidir. Saydam örtü için seçilecek malzemenin, geçirgenlik oranının yüksek olması, absorbe ve yansıtma değerlerinin minimum olması önemlidir. Güneş kolektörlerinde örtü olarak genelde cam veya plastik şeffaf malzemeler tercih edilir (Doğan 2015). Güneş kolektöründeki saydam örtünün 3-4 mm kalınlığında camdan veya bu orandaki saydamlığa sahip, mor ötesi ışınlar için yeterli olan saydamlıkta malzemeden imal edilmeli ve yüksek sıcaklık değerlerine göre de dayanıklı olmalıdır. Saydam örtünün geçirgenlik özelliği kolektör verimini doğrudan etkilemektedir. Şekil 3.11.'deki grafikte görüldüğü gibi camın geçirgenliği yükseldikçe kolektör veriminin de yükseldiği görülmektedir. Camın üstüne gelen güneş ışınımının %85-90'ı geçer. Kalan kısımlarında, ışığın camdan geçişi esnasında cam tarafından yutulduğu veya yansıtıldığı bilinir. Toplanan ışınım miktarı, camda bulunan demir oksit (Fe_2O_3) oranı ile ilişkilidir. Demirin oranının artmasıyla beraber tutulan ışınım miktarı da artar (Tırıs ve Tırıs 1994).

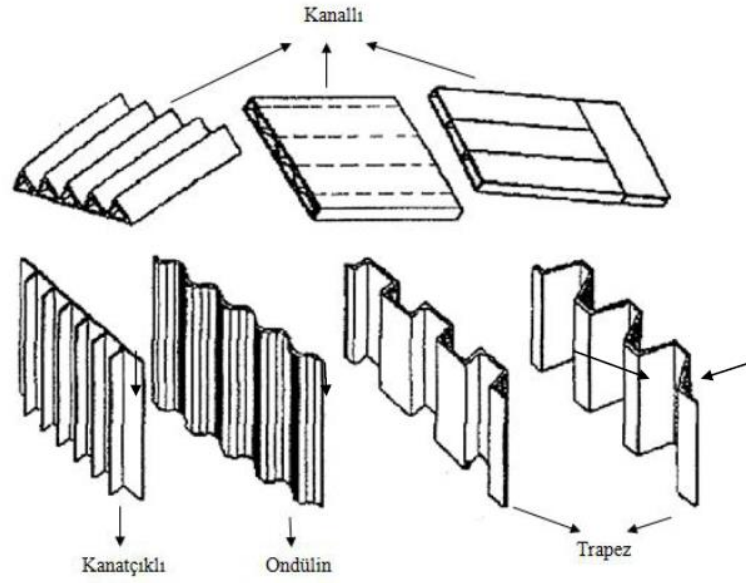


Şekil 3.11. Cam Örtünün Geçirgenliği İle Kolektör Verimi Değişimi

3.3.2. Emici plaka

Emici plaka, güneş kolektörüne gelen güneş ışınlarını bünyelerinde absorbe ederler. Alüminyum, bakır, paslanmaz çelik vb. ısı iletkenlik özelliği uygun olan malzemelerden yapılır. Emici plaka güneşten ışınları tutabilmesi amacıyla genelde siyah renge boyanırlar. Tercih edilen boyanın güneş ışınlarını yutma özelliğinin yüksek ve uzun dalga boylarına sahip radyasyonu yayma katsayısının da düşük olması gereklidir. Emici

yüzeyin, öncelikle güneş ışınlamını tutma oranının yüksek olması ve uzun dalga ışınlam yayma oranının da düşük olması gereklidir. Güneşten gelen ışınlamı absorbe edip, levhanın ısıyı temaslı olduğu akışkana verimli bir şekilde aktarması için, ısı iletimi yüksek malzemelerin seçilmesi ve ısı geçişi için de levhaların ince yapıda olması önemlidir. Aynı zamanda, imalat imkânlarının kolay olması, bulunabilirliği, kolay bir şekilde işlenebilirliği ve ekonomik özellikleri de dikkat edilmesi gereken noktalardır (Dağ 2005). Güneş kolektörlerinde bulunan emici plakaların yüzey yapıları Şekil 3.12.'de gösterilmiştir (Kılıç ve Öztürk 1983).



Şekil 3.12. Güneş Kolektörlerin Yutucu Yüzey Şekilleri.

3.3.3. Kollektör kasası

Güneş kolektörleri kasa malzemesi olarak genelde 1 mm kalınlığında sac veya galvanizli sac tercih edilir. Kollektör kasalarının yapımında ağaç malzeme de çokça tercih edilmektedir. Ancak ağaçtan yapılmış malzemeler yüksek sıcaklara karşı dayanıklı değildir. Bu yüzden metal yapıdaki kasalar, ağaç yapıdaki kasalara göre sağlam ve ısıya daha çok dayanıklıdır. Metal kasalarda ısı yalıtımı sağlanabilirse ısı kayıpları önlenir ve alüminyum malzemeler tercih edildiğinde de ağırlık sorunu giderilmiş olur. Güneş kolektöründeki sıcaklığı en yüksek bölge olan emici plakanın, soğuk olan dış ortamla iletişiminin kesilmesi amacıyla araya cam yünü ve poliüretan köpük gibi yalıtkan malzemeler kullanılabilir. Güneş kolektörlerinde kullanılan malzemelerdeki önemli hususlardan biri de ısı genleşmesidir. Saydam örtü olarak tercih edilen camın ısı genleşmesi de dikkate alınmaz ise ısı

genleşmenin sonucunda kollektör kenarlarında kırılmalar meydana gelir (Doğan 2015). Havalı Güneş kollektör kasasının genel görünümü Şekil 3.13.' görülmektedir.



Şekil 3.13. Deneyde Kullanılan Havalı Güneş Kollektörü Kasası

3.3.4. Kollektör yalıtımı

Güneş kollektörlerinde yalıtım malzemesi olarak kollektörün alt ve yan taraflarında meydana gelebilecek ısı kayıplarını azaltılmak amacıyla ısı iletim katsayısı az olan malzemeler tercih edilir. Yalıtım için, malzemenin yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı, neme olan direnci, şekil değiştirmesi, yanma ve genişleme gibi çeşitli özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin ısıl dirence sahip olan cam yünleri yalıtım malzemesi olarak uygun görülebilir (Bayrak 2011). Bazı yalıtım malzemelerine ait özellikler aşağıdaki Tablo-3.2.'de gösterilmiştir (Kaya ve Oğuz 2015).

Tablo 3.2. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri.

Yalıtım Malzemesi	Max Kullanım Sıcaklığı	Isı İletim Katsayısı (W/m ² K)	
Cam Yünü	250	10 °C'de	0,030 - 0,050
Taş Yünü	750	10 °C'de	0,035 - 0,050
Ekspande Polistren Köpüğü (EPS)	75/80	10 °C'de	0,030 - 0,040
Ekstrude Polistren Köpüğü (XPS)	75/80	10 °C'de	0,030 - 0,040
Polietilen Köpüğü	95	10 °C'de	0,035 - 0,050
Kauçuk Köpüğü	110	10 °C'de	0,030 - 0,050

Bazı yalıtım malzemelerinin (Cam yünü, Taş yünü ve Poliüretan Köpük) görselleri Şekil 3.14. gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Bazı Yalıtım Malzemeleri

4. GİZLİ ISI DEPOLAMA

Enerji depolama sistemlerinden olan gizli ısı depolama, zaman geçtikçe üzerinde bilimsel çalışmaların yapıldığı ve enerji verimliliği noktasında sıklıkla tercih edilen yöntemlerden biridir. Faz değiştiren maddelerin (FDM) kullanıldığı gizli ısı depolamada bu malzemeler sabit sıcaklık değerinde enerjiyi depolayabilen, ihtiyaç duyulduğunda bu enerjiyi istenilen ortama veren malzemelerdir. Faz değiştirebilen malzemeler yüksek ısı depolama kapasitesinde olduklarından dolayı, atık olan ısının depolanmasında, enerjideki tedarik ihtiyacının karşılanmasında, yenilenebilir enerji sistemlerinde üretilenin tüketilenden fazla olduğu yerlerde tercih edilerek enerji kaybını önlenmesini sağlar (Sarı vd 2008).

Gizli ısı depolama, herhangi bir maddenin fazında meydana gelen değişimi ifade eder. Sabit sıcaklıkta veya belirlenen bir sıcaklık değerlerinde madde de oluşan faz değişimi esnasında iç enerjisindeki değişim ile dışarıdan almış olduğu veya dış çevreye vermiş olduğu ısıdır. Faz değişiminin oluşabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji erime noktası için erime ısısı, kaynama noktası için de buharlaşma ısısı olarak isimlendirilir. Gizli ısı depolama yönteminde farklı 5 (beş) faz değişim tipi vardır. Bunlar,

- Katı-Katı,
- Katı-Sıvı,
- Sıvı-Buhar,
- Katı-Buhar,
- Sıvı-Sıvı

faz değişimleridir (Wang vd. 2000).

Maddelerin faz değişimi durumunda iç enerjilerinde meydana gelen artış ile sabit sıcaklıkta faz değiştirmesi sonucu enerjinin depolanmasına gizli ısı depolanması denir. Bu sistemlerde sabit sıcaklık değerlerinde buharlaşan ve eriyen bir faz değişim elemanı (FDM) kullanılır. (Bolat 2016) Isıl enerjilerin depolama teknikleri genellikle duyulur ısı ile gizli ısı depolama şeklinde iki farklı grupta sınıflandırılabilir. Faz değiştiren madde kullanılarak yapılan gizli ısı depolamasında FDM'nin erime ile katılaşma zamanında yüksek enerji depolama kabiliyeti ve izotermal depolama yapabilmesi önemli

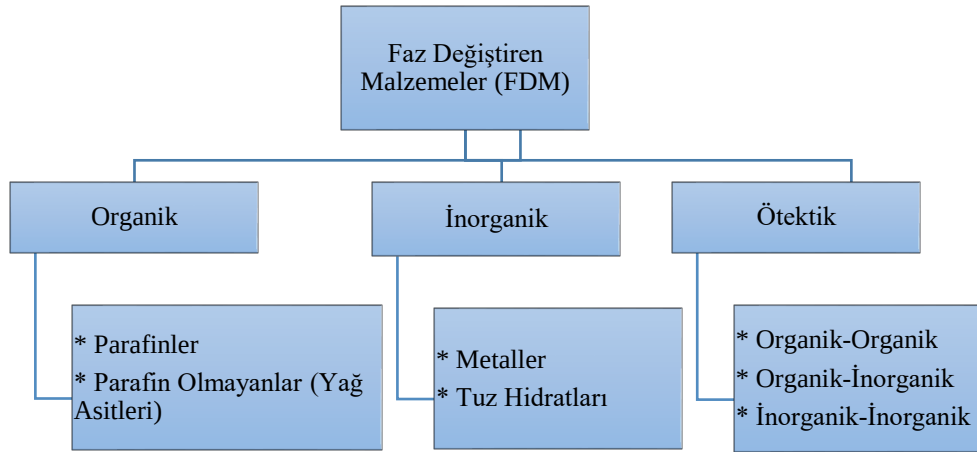
avantajlarındandır. Bu sebeple birçok farklı alanda etkin olarak tercih edilmektedir. Gizli ısı depolama tekniğinde FDM'nin erimesi ile termal enerji depolanır ve katılaşma durumunda ise serbest bırakılır (Yatağanbaba 2013). Isı depolama amacıyla FDM kullanımı, vermiş olduğu yüksek ısı depolama yoğunluğu ile dar olan sıcaklık aralıklarında küçük olan bir hacimde gizli ısı olarak büyük bir miktardaki enerjiyi depolayabilme kapasitesi sebebiyle farklı birçok mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Parafin olmayan FDM'lere bakıldığında parafinlerdeki gibi birbirine benzer özellikler göstermezler. Her faz değiştirebilen madde kendine has farklı özellikleri gösterebilir (Sharma vd. 2009).

FDM'lerin dikkat çeken özelliği, faz değişimi şeklinde enerji depolama özelliğinin olmasıdır. FDM'ler genelde ortam sıcaklığında katı halde bulunurlar. Ortamın sıcaklığı arttığında FDM'nin de kimyasal bağları birbirinden ayrılarak sistem sıcaklığındaki az miktar bir değişimle erimesi sonucu enerjiyi depolar. Ortam sıcaklığının azalması sonucunda da FDM'ler katı faza dönüp, depolamış olduğu enerjiyi de serbest bırakırlar. Gerçekleşen bu çevrim ortamın sıcaklığını da belirli bir düzene kavuşturur. FDM'ler gizli ısıyı kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişim olmadan binlerce çevrim içinde muhafaza ederler. (Baetensa 2010). Gizli ısı depolamada, arzu edilen sıcaklık aralıklarında eriyip katılaşarak faz değiştirebilen malzemelerdeki erime, gizli ısı şeklinde ısının depolanmasıdır. Gizli ısının depolanmasında, katı-sıvı faz değişimi esnasında faz değiştiren malzemeden soğurulan ve serbest bırakılan ısıdan faydalanılmasıdır. Gizli ısıdaki depolamanın temel özelliği, duyulur ısının depolanması yöntemine göre bu depolama kapasitesinin yüksek olmasıdır (Ertunçay 2016).

Gizli ısı depolama yöntemlerinin diğer depolama yöntemlerine göre üstünlükleri genel olarak şu şekilde sıralanabilir.

1. Isı depolama kapasiteleri yüksek olup, kullanılan ısı deposunun hacmi ise daha küçüktür.
2. Faz değiştiren maddenin birim kütleinin ısıyı depolama yeteneği daha yüksektir.
3. Faz değiştiren maddenin faz değişimi sıcaklığı sabit sıcaklık altında geri kazanım ve depolama için uygundur.
4. Sabit sıcaklık değerinde ısı ihtiyacı olan uygulamalar için de uygundur (Goldstein 1978).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda FDM'lerin sınıflandırılması Şekil 4.1.'de yapılmış ve ısı transfer özellikleri ile çalışma alanları da ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır (Zalba vd. 2003).



Şekil 4.1. FDM'lerin Sınıflandırılması.

4.1. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

Maddenin faz değiştirme esnasındaki gizli ısıdan faydalanılarak ısı enerjisinin depolanması amacıyla kullanılan malzemelere faz değiştiren maddeler (FDM) şeklinde tanımlanmaktadır. FDM'ler belirli bir sıcaklık değerlerinde depolama yapabildiği gibi, erime sıcaklığı değerine göre de ısıtma veya soğutma amaçlı çalışmalarda kullanılabilirler (Kurt 2012). Organik Faz değiştiren Maddeler (FMD) parafin ve parafin olmayan FDM'ler şeklinde sınıflandırılmıştır. Parafinler, yapı itibarıyla düz zincir şeklinde olduklarından dolayı karbon zincirinin uzunluğu yükseldikçe erime sıcaklıkları ile faz değişim entalpileri artmaktadır. Molekül yapıdaki karbon atomlarının sayısı 13 - 28 sayıları arasında bulunduğu, erime sıcaklıkları da -5 ile 60°C sıcaklık değerleri arasında olmaktadır (Mehling ve Cabeza, 2008).

4.1.1. Parafinler

Parafinler Organik FDM sınıfında gösterilirler. Ham petrolden elde edilen alkan türevlerinden oluşmuş olan doymuş hidrokarbon karışımlardır. Mumsu bir yapısı mevcuttur. Toksik olarak değerlendirilmezler ve tatsızdırlar. Piyasada ucuz olarak bulunabilir ve yoğunlukları da yüksektir. Bundan dolayı kolay bir şekilde depolanabilirler. Fakat kimyasal yapısı iyonik olmadığından dolayı termal iletkenlikleri de çok düşüktür. Parafinler kimyasal olarak kararlı ve bol olduklarından, genel olarak ısı

depolaması için tercih edilirler (Şahan 2011). Parafinlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 4.1.'de gösterilmiştir (Efe 2019).

Tablo 4.1. Parafinlerin Avantaj ve Dezavantajları.

PARAFİNLERİN	
Avantajları	Dezavantajları
Yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahiptirler.	Düşük ısı iletkenlik
Kimyasal ve termal olarak kararlı bir yapıya sahiptirler.	Faz değişimi sırasında büyük hacim değişikliği
Korozif ve zehirli değildir.	Yanıcıdır
Aşırı soğuma göstermezler.	Erime sıcaklıkları sabit değildir

Parafinler, oda sıcaklığında mumsu şeklinde olmasıyla beraber yüksek değerlerde de ağır hidrokarbonları barındıran FDM'lerdir. Parafinler kimyasal yapı olarak öncelikle zincirin sonlarında 2-metil grupları şeklinde az miktarda kuvvetli bir zincire sahip olan hidrokarbonlardan oluşurlar. Parafinler C_nH_{2n+2} formülüyle ifade edilir ve bir çok özellikleri de birbirlerine benzerler. Atmosfer basıncı ve oda sıcaklığı değerinde ilk dört alkanlar (metandan (CH_4) pentana (C_5H_{10})) gaz yapıdadır. Karbon sayısına göre C_5 ile C_{15} arasında bulunan parafinler sıvı formda, diğerleri ise mum (wax) olarak katı formda bulunurlar. Parafin waxın yapısında bulunan n-alkan genelde %75 değerinin üstünde olmasıyla beraber bu değer %100'e kadar çıkabilmektedir. Parafinlerin iç yapısında bulunan alkanların zincir uzunluklarına göre dallanmış (izo-alkan) ya da düz zincirli (n-alkan) olabilmektedir (Karaipekli 2006).

Parafinler, erime durumundaki gizli ısılarının yüksek değerde olması ve sıcaklık aralık değerlerinin çok geniş olması nedeniyle gizli ısı depolama malzemesi olarak değerlendirilmektedirler. Parafinlerin bazı özellikleri Tablo 4.2.'de gösterilmiştir. Parafinlerin bulunabilirliği kolaydır ve genelde maliyet değerleri tuz hidratlara göre daha yüksektir. Metal yapıdaki kaplarda korozyona sebep olmadıkları için gizli ısı şeklindeki enerji depolama çalışmalarında tuz hidratlardan önce tercih edilirler (Karaipekli 2006).

Tablo 4.2. Bazı Parafinlerin Özellikleri

Bileşiği	C Atomu Sayısı	Erime Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Gizli Isı (kJ/kg)
n-Dodekan	12	-12	750	0,21 ^K	
n-Tridekan	13	-6	756		
n-Tetradekan	14	4,5-5,6	771		231
n-Pentadekan	15	10	768	0,17	207
n-Hekzadekan	16	18,2	774	0,21 ^K	238
n-Heptadekan	17	22	778		215
n-Oktadekan	18	28,2	814 ^K , 75 ^S	0,35 ^K , 0,149 ^S	245
n-Nonadekan	19	31,9	912 ^K , 769 ^S	0,21 ^K	222
n-Eikosan	20	37			247
n-Heneikosan	21	41			215
n-Dokosan	22	44			249
n-Trikosan	23	47			234
n-Tetrakosan	24	51			255
n-Pentakosan	25	54			238
Parafin wax	-	32	785 ^K , 749 ^S	0,514 ^K , 0,224 ^S	251
n-Hekzakosan	26	56	770	0,21	257
n-Heptakosan	27	59	773		236
n-Oktakosan	28	61	910 ^K , 765 ^S		255
n-Nanokosan	29	64			240
n-Triakontan	30	65			252
n-Hentriakontan	31		930 ^K , 830 ^S		
n-Dotrikontan	32	70			
n-Tritrikontan	33	71			189

Parafinlerin bazı önemli özellikler şunlardır:

- Tedariği kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilirler.
- Korozi ve oksitleyici değildir.
- Geniş bir erime noktası sıcaklık değerinde bulunabilirler.
- Yüksek füzyon gizli ısıya sahiptir.
- Faz geçişleri süratli ve kimyasal olarak kararlı yapıdadırlar.
- Önemli oranda aşırı soğuma gösterir ve düşük oranda aşırı doygunluğa sahiptirler.

- Kendi kendine çekirdekleşebildiği gibi erime noktasındaki hacimsel değişimleri de düşüktür.
- Parafinler, tuz hidratlara göre hacimsel enerji depolama yoğunlukları daha düşüktür.
- Parafinler, tuz hidratlar ile diğer FDM'ler ile karşılaştırıldıklarında faz geçişinde en iyi kinetik özelliği gösterirler.
- Isıl iletkenlikleri zayıf olmakla beraber ısı değiştiricileri tasarımı için özel olarak dikkat edilmesi gerekir.
- Ekonomik açıdan sadece teknik saflıkta parafinler kullanılabilir. Parafinlerin erime noktası değerleri de geniş aralıktadır.
- Parafinler plastik yapıdaki kaplarda depolanma amacıyla uygun olmadıkları için metalik yapıdaki depolama kapları tercih edilmelidir (Davidson 1980).

4.1.2. Tuz hidratları

Tuz hidratlar ısı depolama kapasitesi açısından ısı enerjisi depolama ürünleri arasında önemli bir kısmı oluştururlar. Kimyasal formülleri $M.nH_2O$ şeklinde ifade edilirler. (M ifadesi inorganik bir bileşiği gösterir). Tuz hidratları, katılaştığı durumda bir kristalin matriks ile bir araya gelen su ve tuzdan meydana gelir. Saf veya ötektik karışım olarak kullanılabilirler. Tablo 4.3.' de ısı enerjisi depolama sistemleri için kullanılan bazı tuz hidratları ve özellikleri gösterilmiştir (Bolat 2016).

Tablo 4.3. Çeşitli Tuz Hidratlarına ait Erime Sıcaklıkları ile Erime Gizli Isıları

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)	Erime Davranışı
KF. 4H ₂ O	18	-	-	330	Düzenli
K ₂ H ₀₄ .4H ₂ O	18.5	1447 ^{20C} 1455 ^{18C}		231	
CaCl ₂ .6H ₂ O	29-30	1562 ^{32C} 1802 ^{24C}	0.561 ^{61,2C} 1.008 ^{23C}	170-192	Düzensiz
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	-	-	189-296	Düzenli
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32	1485 ^{24C}	0.544	251-254	Düzensiz
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	33-36	1442	-	247	Düzensiz
Na ₂ HP0 ₄ .12H ₂ O	35	1522	-	25-281	Düzensiz

Tuz hidratlarının faz değıştiren madde olarak tercih edilmesi durumdaki avantaj ve dezavantajları Tablo 4.4.'de gösterilmiştir (Goldstein 1978).

Tablo 4.4. Tuz Hidratlarının Avantaj ve Dezavantajları

Faz Değıştiren Madde	Avantajları	Dezavantajları
Tuz Hidratlar M.nH ₂ O	✓ Düşük maliyette ve kolay bulunabilirler. ✓ Yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler. ✓ Yüksek erime gizli ısısına sahiptirler. ✓ Faz değışimi sırasında küçük hacim değışikliği gösterirler.	✓ Faz ayrımı gösterirler. ✓ Aşın soğuma davranışı gösterirler. ✓ Kooziftirler

4.1.3. Yağ asitleri

Yağ asitlerinin kimyasal denklemi $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$ şeklindedir. Parafinler ile benzer özellikleri vardır. Trigliserit adlı yağlardan elde edilen yağ asitleri bu şekilde adlandırılmıştır. Yağ asitleri, bir yönden bir metil grubu, farklı yönden ise karboksil grubu barındıran uzun hidrokarbon zincirleri şeklindedirler (Üçok 2012). Düşük karbon oranında olan yağ asitleri oda sıcaklığında sıvı fazdadırlar. Karbon sayıları yükseldikçe viskoziteleri de yükselir ve karbon sayısı daha yüksek olanlar ise katı fazda olurlar. Düşük karbon oranına sahip yağ asitleri su ortamında çözünür ve zayıf asit özelliğini gösterirler. Tablo 4.5.'de bazı yağ asitlerin ısı özellikleri gösterilmiştir (Karaipekli 2006).

Tablo 4.5. Bazı Yağ Asit Maddelerin Özellikleri

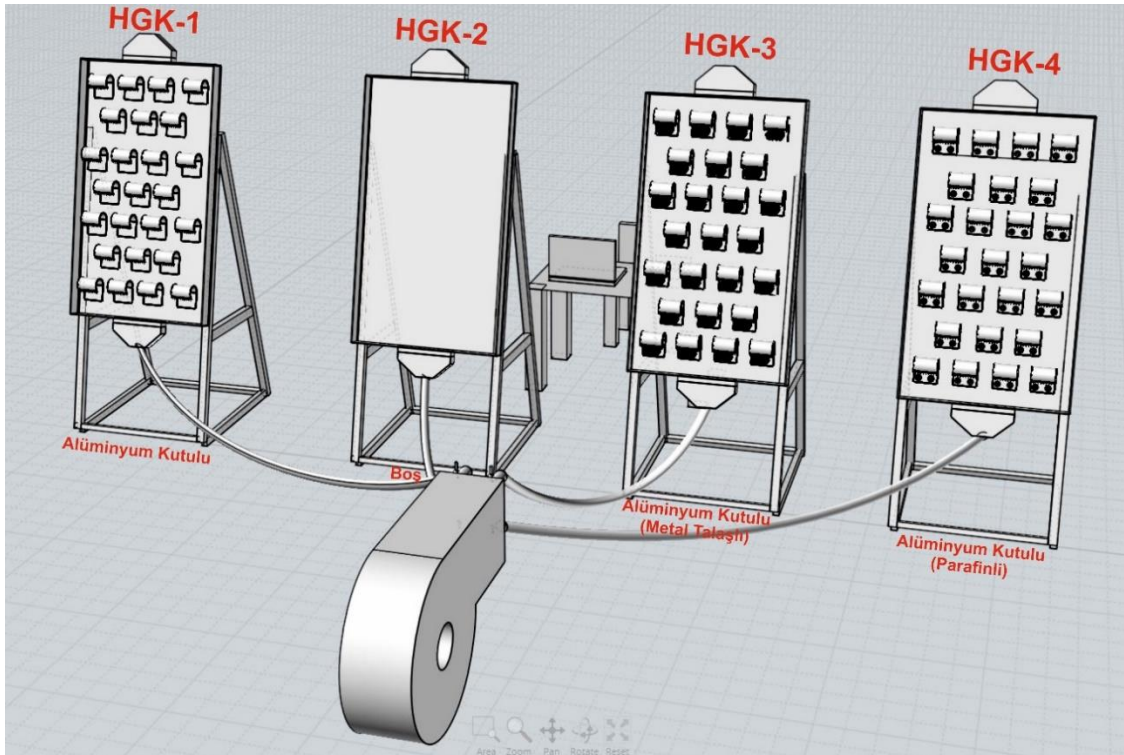
Yağ Asidi	Ergime Sıcaklığı (°C)	Ergime Isısı (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Özgöl Isı (kJ/kgK)	Isı İletimi (W/mK)
Kaprik Asit	31,5	153	0,886	-	0,149
Laurik Asit	42-44	178	0,870	1,6	0,147
Palmitik Asit	63	187	0,847	-	0,165
Stearik Asit	70	203	0,941	2,35	0,172

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deney Setinin Hazırlanması

Bu çalışmada Batman ili iklim koşullarında kanatçık yapıda ve farklı malzeme yapıları ile tasarlanmış olan hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin ısı verimlerinin deneysel analizi yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmada Şekil 5.1.'de gösterildiği gibi 4 farklı güneş kolektör paneli tasarımı yapılmıştır.

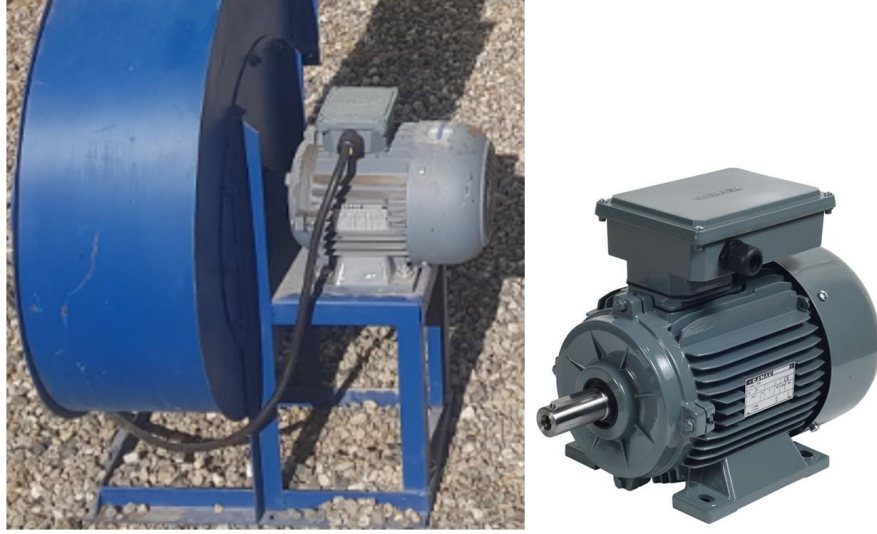
- I. Tip Güneş kolektörü (HGK-1); Alüminyum kutular kanatçık yapıda kesilerek belirli bir düzende kolektöre dizilerek tasarlanmıştır.
- II. Tip Güneş Kolektörü(HGK-2); İçi boş kolektör olarak tasarlanmıştır.
- III. Tip güneş kolektörü(HGK-3); Kanatçık yapıda kesilmiş Alüminyum kutular içine metal talaşı doldurularak tasarlanmıştır.
- IV. Tip güneş kolektörü(HGK-4); Kanatçık yapıda kesilmiş Alüminyum kutular içerisine Parafin maddesi konularak tasarlanmıştır.



Şekil 5.1. Havalı Güneş Kolektörü Tasarım Şeması

Dört farklı şekilde tasarlanan güneş kolektörleri birbirlerini izleyen farklı günlerde 1m/s - 1,5m/s - 2m/s - 2,5m/s - 3m/s - 3,5m/s ve 4m/s hava hızlarında ısı

verimleri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı malzeme yapılarında tasarlanan güneş kollektörlerine bağlanan termokupullardan alınan sıcaklık ve radyasyon verileri, data logger aracılığı ile bilgisayar ortamında kayıt altına alınarak veri analizleri yapılmıştır. Deney setinde kullanılan havalı güneş kollektörlerine basınçlı havanın verilebilmesi amacıyla üniversite bünyesinde bulunan Şekil 5.2.'de verilen radyal fan (GAMAK AGM 90 S 4 model) kullanıldı. Hava akışını sağlayan bu fanın teknik özellikleri de Tablo 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deneyde Kullanılan Radyal Fan ve motoru

Tablo 5.1. GAMAK AGM 90 S 4 model Fan Teknik Özellikleri

Türü	Açıklama
Volt	1 ~ 220V 50 Hz
Koruma Sınıfı	IP 55 (TEFC)
Yalıtım Sınıfı	F (155 °C)
Isı Artış	Class B (80K)
Çıkış Gücü (kW)	1,1
Anma Hızı (rpm)	1400
Anma Akımı (A)	7,1
Anma Momenti (Nm)	7,5
Verim %	74
Gövde	Alüminyum
Yaklaşık Ağırlık (kg)	12,9
Eylemsizlik Momenti J (kgm) ²	0,0022

Üniversitede bulunan Fan, deneyde ihtiyaç duyulacak olan farklı hızlardaki havanın elde edilebilmesi için uygun değildi. Bu amaçla tek çıkışı olan Fan'a alüminyum saçlardan oluşan ve 4 farklı çıkışa uygun bir alüminyum saçlardan oluşan bir düzenek yapıldı. Şekil 5.3.'de Fan'ın çıkışına monte edilen alüminyum saçın çıkış yerlerinden dört farklı delik açılarak bu deliklere de küresel vanalar monte edildi. Bu şekilde Fan'dan farklı kütleli debilerde havanın elde edilebilmesi için imkân sağlanmış oldu.



Şekil 5.3. Dört (4) Farklı Çıkışa Sahip Hava Basan Fan

Radyal fan üzerinde yapılan çalışmadan sonra havalı güneş kollektörlerinde kullanılmak üzere alüminyum kutular tedarik edildi. Farklı türdeki içecek firmalarında kullanılan alüminyum kutular hem ısı iletkenlik özelliklerinin kullanılması hem de çevreyi korumak adına geri dönüşümü düşünülerek deney düzeneğinde kullanılması tercih edildi. Alüminyum kutular öncelikle temizlenerek dezenfekte edildi. Havalı güneş kollektöründe ısı transfer yüzeyini arttırmak ve kanatçıklı yapının oluşturulması amacıyla alüminyum kutuların alt ve üst kapakları spiral taşlama aletiyle Şekil 5.4.'te gösterildiği gibi kesildi.



Şekil 5.4. Alüminyum Kutuların Kesilmesi

Alt ve üst kapakları kesilen alüminyum kutular ortadan iki kesilerek bir yüzü kanatçıklı bir yapıda kesildi. Isıyı daha iyi absorbe edebilmesi amacıyla kutular siyah mat boya ile boyalandı. Kanatçık yapıda kesilen alüminyum kutular tasarım şekline göre sanayiden tedarik edilen metal talaşları belirli gramajlarda (20gr) Şekil 5.5.'deki gibi monte edildi. Diğer tip kollektörde Şekil 5.6.'daki gibi içinde parafin maddesi bulunan yuvarlak yapıdaki kapsüller, yüksek ısıya dayanıklı yapıştırıcılar ile eklendi.

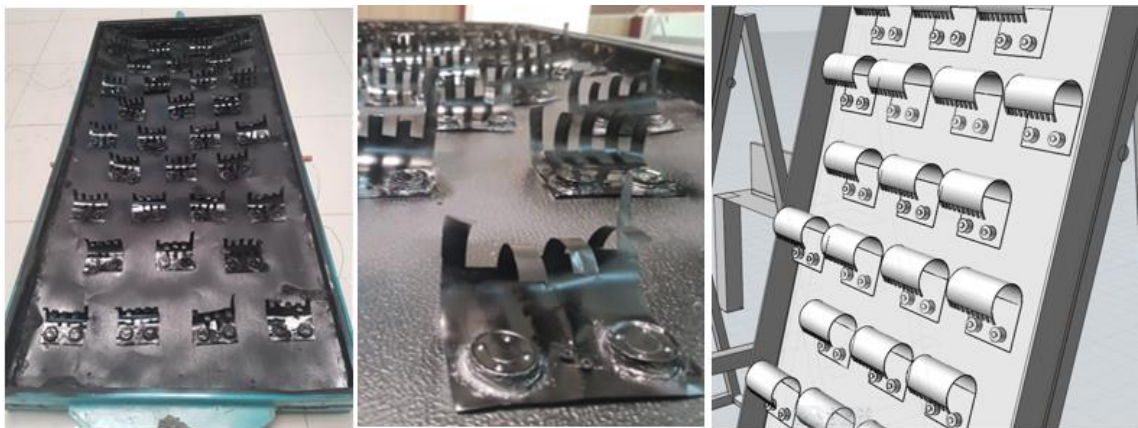


Şekil 5.5. Metal Talaşlı Alüminyum Kutular



Şekil 5.6. Parafin Kapsüllü Alüminyum Kutular

Alüminyum kutular istenilen şekillerde tasarlandıktan sonra üniversite bünyesinde bulunan 190x90 cm ebatlarındaki havalı güneş kollektörlerine montelenmesine geçildi. Kutular kollektörlere eşit sayıda (32) ve belirli bir düzende olacak şekilde sabitlendi. Sabitlenen alüminyum kutular daha sonra güneş ışınlarından maksimum seviyeden yararlanmak amacıyla kollektör alt yüzeyi ile beraber bütün halinde mat boya ile boyandı. Şekil 5.7., Şekil 5.8., Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da tasarlanan güneş kollektörleri ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Parafin Kapsüllü Havalı Güneş Kollektörü Montajı



Şekil 5.8. Metal Talaşlı Havalı Güneş Kollektörü Montajı.



Şekil 5.9. Boş Kollektör



Şekil 5.10. Alüminyum Kutulu Güneş Kollektörü

Batman Üniversitesi Batı Raman kampüsünde tasarlanan deney düzeneği sırasıyla; kanatçık yapıda alüminyum kutulu (HGK-1), boş (HGK-2), kanatçık yapıda metal talaşlı alüminyum kutulu (HGK-3) ve kanatçık yapıda parafin kapsüllü alüminyum kutulu (HGK-4) olmak üzere toplamda dört (4) farklı havalı güneş kolektörü tasarlanmış oldu.

5.1.1. Kollektör panelinin optimum eğim açısı

Meteroloji Genel Müdürlüğünden alınan yatay (enlem) düzleme gelen ışıyım değerinin eğim açısına göre analizi Tablo-14’de yapılmıştır. Verim noktasındaki artışın daha çok kış aylarında görüldüğü, yaz aylarına bakıldığında Ağustos (15^0) ayın haricinde verim artışını olmadığı görülmektedir. Panelin açısı yıl olarak sabitlendiğinde, kış ayları için verim artışı gözlemlenirken yaz ayları için ise ilk duruma göre bir verim düşüşü olduğu görülmektedir. Panelin açısı Batman iline ait enlem açısına (37^0) göre tüm yıla sabit olacak şekilde ayarlandığında ilk yatay konum için kış aylarında verimin arttığı gözlemlenirken yaz aylarında ise verimin düştüğü görülmektedir (Kallioğlu 2021).

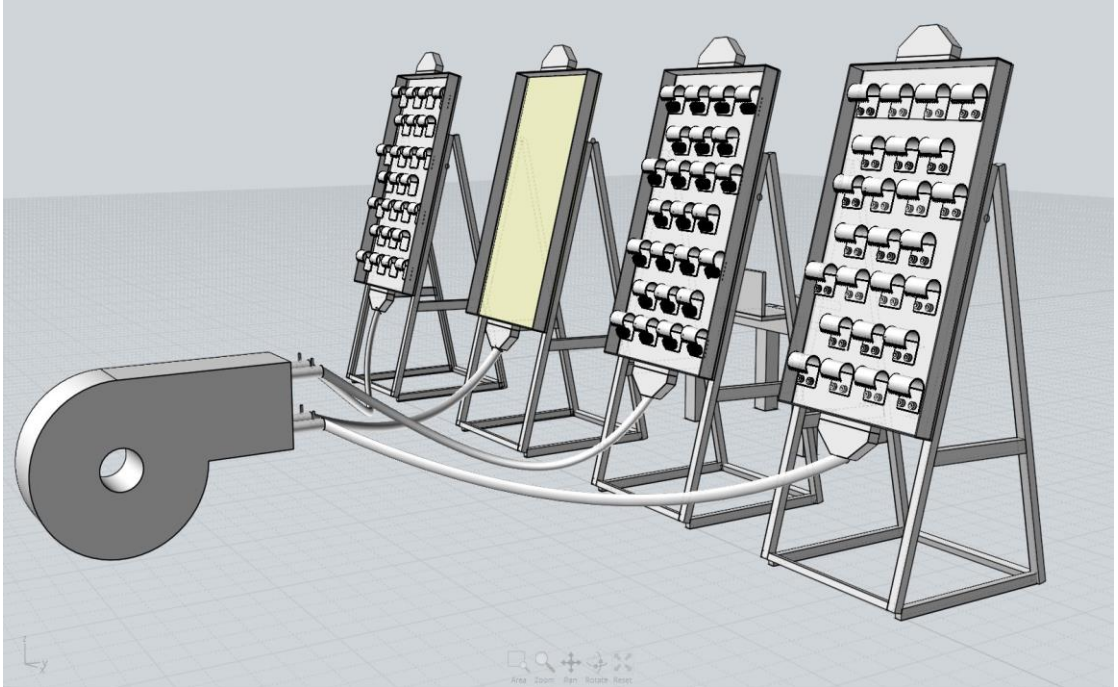
Tablo 5.2. Batman İli Optimum Açı-Verim İlişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	Verim % Mevsim	Verim % Yıllık	Verim % Enlem
Ocak	59	46	44	35	40
Şubat	48	22	21	20	22
Mart	38	16	12	15	15
Nisan	20	4	3	2	0
Mayıs	6	2	0	0	0
Haziran	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	0
Ağustos	15	3	1	0	0
Eylül	32	11	9	11	10
Ekim	49	33	34	29	32
Kasım	59	47	44	36	41
Aralık	59	51	50	38	44

Tasarımı yapılan güneş kollektörlerinin Batman ili için Tablo 5.2.’de aylara göre hesaplanan optimum açı hesabı göz önüne alındığında, deneylerin yapıldığı Eylül ve Ekim aylarının ortalaması olarak 41^0 ’ lik açının uygun olacağı öngörülmüştür. Deney düzeneği Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.’de gösterildiği gibi sıralı bir şekilde her biri 41^0 açıda olacak şekilde yan yana dizilerek bağlantıları yapılmıştır.



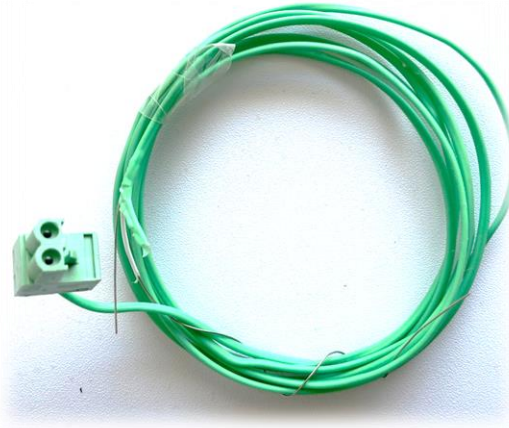
Şekil 5.11. Havalı Güneş Kollektörlerinin Genel Görüntüsü



Şekil 5.12. Dört Farklı Tasarımlı Havalı Güneş Kollektörlerinin 3D Görseli

5.2. Ölçüm Cihazlarının Bağlantısı

Havalı güneş kolektörlerinden alınacak sıcaklık değerlerini ölçmek amacıyla Şekil 5.13.'deki K tipi Termokupllar kullanıldı. Termokupl farklı iki alaşımın uçlarının kaynaklanması şeklinde oluşturan temel bir sıcaklık ölçü malzemesidir. Bu termokupullar havalı güneş kolektörlerinin belirli noktalarına monte edildi. Kullanılan termokupl'a ait teknik özellikler Tablo 5.3.'de gösterilmiştir.

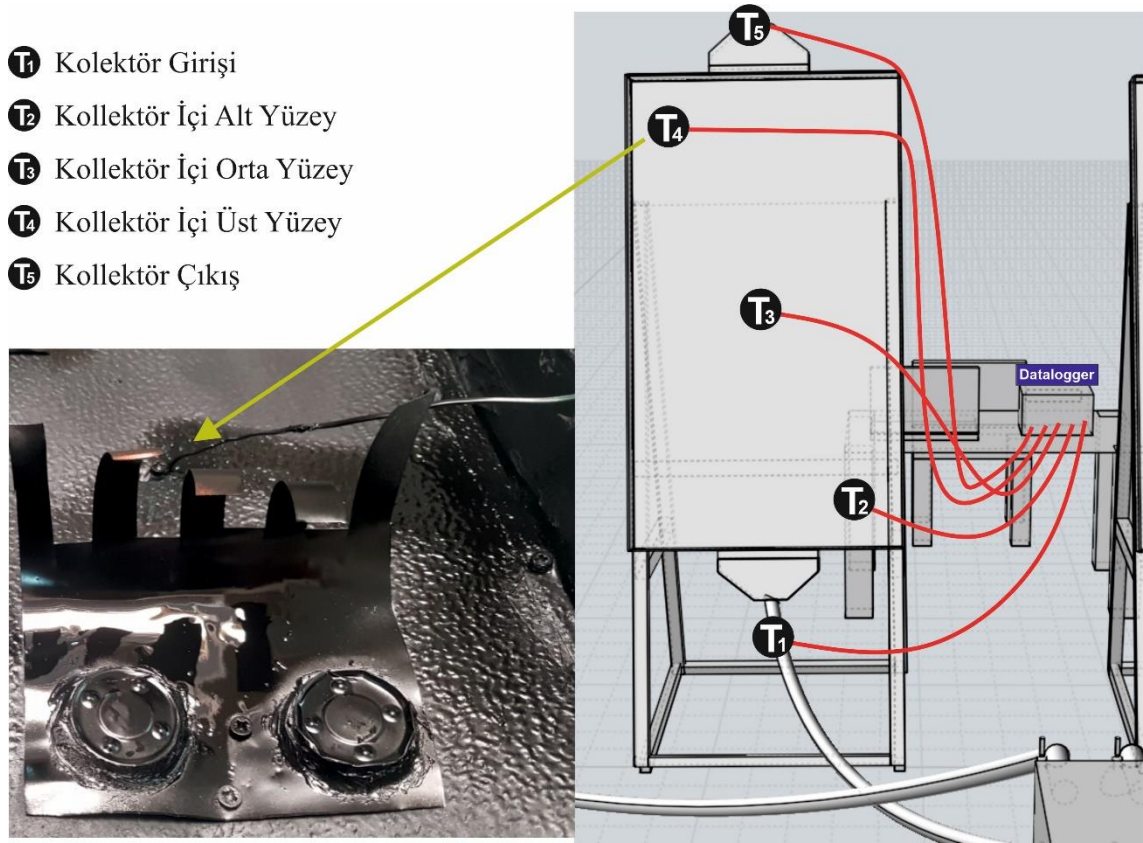


Şekil 5.13. K tipi Termokupl

Tablo 5.3. Termokupl Teknik Özellikleri

Termokupl Bilgileri	Özellikleri
Tipi	1xK Tipi Bakır Uçlu Yüzey Termokupl
Çalışma Sıcaklığı	-60 ÷ 280°C
Tek Elemanlı	1xNiCr-Ni
Kablo Kesiti	2 x 0,50mm ²
Kablo İzolasyonu	Teflon+Teflon

Her bir kolektör için; kolektör girişi, kolektör içi alt yüzey, kolektör içi orta yüzey, kolektör içi üst yüzey ve kolektör çıkışı sıcaklığı olmak üzere toplam 5 adet termokupl Şekil 5.14.'deki gibi monte edildi. Termokupllar kolektörlere vida yardımıyla sabitlenerek olabilecek bağlantı kopmaları engellenmiş oldu. Ayrıca dış ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla da bir adet termokupl kullanıldı.



Şekil 5.14. Termokupl Örnek Kollektör Bağlantısı

Her bir havalı güneş kolektörü için ayrı ayrı olmak üzere monte edilmiş olan termokuplların diğer uçlarına data bağlantı soketleri bağlandı. Termokupllardan alınacak sıcaklık değerlerini bilgisayar ortamına aktarmak amacıyla 32 kanal kapasiteye sahip Şekil 5.15.'de gösterilen Elimko-68 Dataloger cihazı kullanıldı. Kollektörlerden gelen toplam 21 adetten oluşan termokupullar belirli bir düzende Dataloger cihazına bağlandı. Dataloger cihazı ile bilgisayar arasında USB bağlantısı sağlanarak cihaza ait özel bir yazılımla sıcaklık değerlerinin okunup kaydedilmeye hazır hale getirildi. Dataloger cihazına ait teknik özellikler Tablo 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.15. Data Loger Cihazı

Tablo 5.4. Deneyde kullanılan Elimko 680 Data Loger cihazına ait teknik bilgiler

Data Loger Bilgileri	Özellikleri
Doğruluk Değeri	0,5
Gösterge Değeri	9 Digit LED (14 mm)
A/S Çevirim Değeri	16 bit
S/A Çevirim Değeri	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0.2-9.9 Saniye/Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1-99 Saniye/Kanal
Gürültü Bastırma Değeri	120 dB 50 Hz'de
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	-10 ... 55°C
T/C Ortam Sıcaklık Kom.	0 ... 50°C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Bant	0-9999 EU*
Çalışma Gerilimi	85-265 V AC / 85-375 V DC
Güç Sarfı	Max. 7 W
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250 V AC 5 A
Giriş İşareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans termometre Diğerleri = Standart ve özel çıkışlı transmitter ve çeviriciler
Bellek	EEPROM max. 10 ⁵ yazma
Ağırlık	650 gr

Havalı güneş kollektörlerinden alınan sıcaklık değerlerinin yanında dış ortamdaki radyasyon değerlerini almak amacıyla Şekil 5.16.'daki Sinometer SM206 model radyasyon ölçüm cihazı (solar metre) kullanıldı. Belirli aralıklarda güneşten gelen radyasyon değeri okunarak hesaplamalar yapıldı.



Şekil 5.16. Radyasyon Ölçüm Cihazı

Radyasyon değerleri panellerle aynı açıda (41^0) tutularak sıcaklık değerleriyle birlikte eş zamanlı olarak kaydedilmesi sağlandı. Radyasyon ölçüm cihazına ait teknik veriler Tablo 5.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Radyasyon Ölçüm aleti Teknik Özellikleri

Solarmetre Bilgileri	Özellikleri
	0.1-399.9,1-3999 W/m ²
Ölçüm menzili	0.1-399.9,1-3999 Btu/ (ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1 Btu/(ft ² -h)
Çözünürlük	0.1-399.9,1-3999 W/m ² 0.1-399.9,1-3999 Btu/ (ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1 Btu/(ft ² -h)
Hassasiyet	±5% okumada (250°C) ±0.38W/m ² /°C
Sıcaklık hatası	±0.12 Btu/(ft ² -h)/°C ±0.12 Btu/(ft ² -h)/°C
Yanıtlama süresi	0.25 sn
Boyutlar	60x132x38mm
Batarya	9Vx1,6F22

Deney düzeneğinde bulunan fandan çıkan hava hızını ölçmek amacıyla Şekil 5.17.'deki Anemometre (Kestrel 2000) kullanıldı. Kompresörden dört farklı kanaldan çıkan hava küresel vanalar ve Anemometre yardımıyla istenilen debilerde hava çıkış hızlarının elde edilmesi için kullanıldı.



Şekil 5.17. Deneyde Kullanılan Anemometre

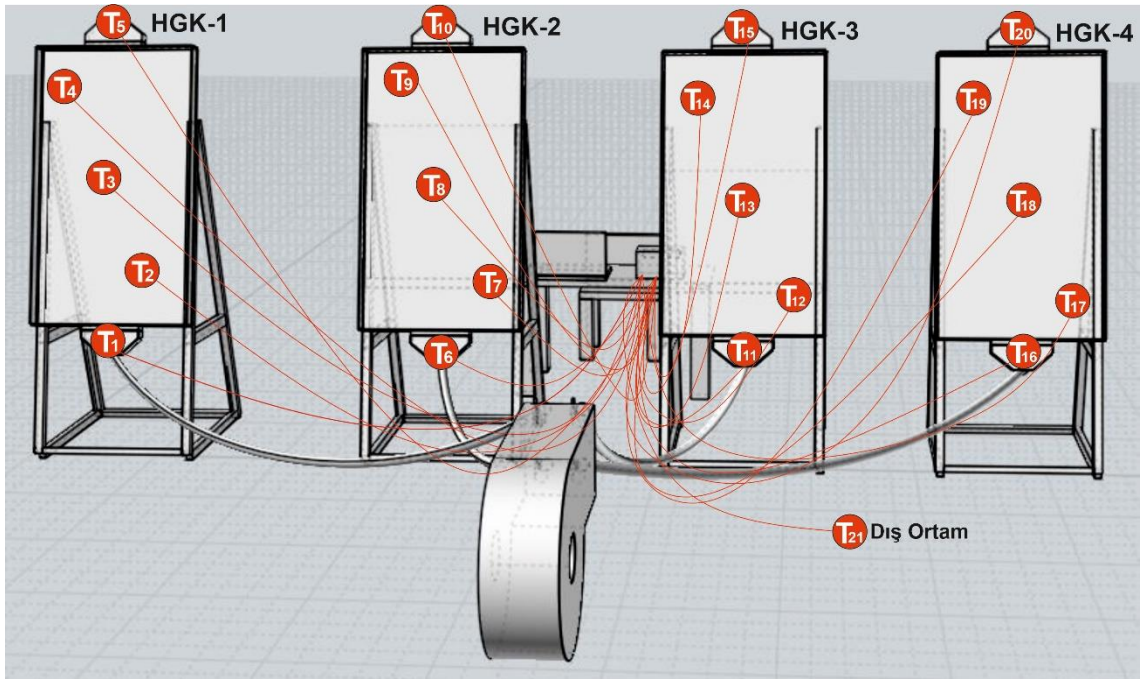
Sisteme salyangoz fan tarafından verilen hava her bir kollektör çıkışından ayrı ayrı Anemometre ile ölçülünerek ihtiyaç duyulan hava hızları elde edildi. Anemometreye ait teknik özellikler Tablo 5.6.'de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.6. Anemometrenin Teknik Özellikleri

Anemometre Bilgileri	Özellikleri
Maksimum Hava Hızı	40m/sn
Hava Hızı Çözünürlüğü	0,1m/sn
Sıcaklık Ölçüm Çözünürlüğü	0,1°C
Ölçüm Parametreleri	Hava Hızı, Sıcaklık
En iyi Hava Hızı Doğruluğu	%+-3
Prob Tipi	Döner Pervane
En İyi Sıcaklık Ölçümü Doğruluğu	%+-1
Minimum Çalışma Sıcaklığı	-10°C
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	+55°C

5.3. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması

Sistemin tasarımı ve kurulumu tamamlandıktan sonra deneylerin yapılması aşamasına geçildi. Havalı güneş kollektörleri önceden belirlenen 41^0 'lik açı ile yan yana gelecek şekilde dizilerek her biri farklı günlerde olacak şekilde 1m/sn - 1,5m/sn - 2m/sn 2,5m/sn - 3m/sn - 3,5m/sn ve 4 m/sn lik sabit hava hızlarında saat 09:00 ile 16:00 saatleri arasında deneyler yapıldı. Hava hızları, salyangoz fanın çıkışında bulunan dört farklı küresel vana yardımıyla her bir kollektör için ayarlandı. Hava hızları anemometre yardımıyla ölçülerek ihtiyaç duyulan hava hızları sağlanmış oldu. Sistemdeki sıcaklık değerlerinin alınabilmesi için termokupllar kullanıldı. Şekil 5.18.'da gösterildiği gibi her bir kollektör paneline 5 ve toplamda 21 adet termokupl bağlanarak sıcaklık değerlerinin ölçümleri yapıldı.



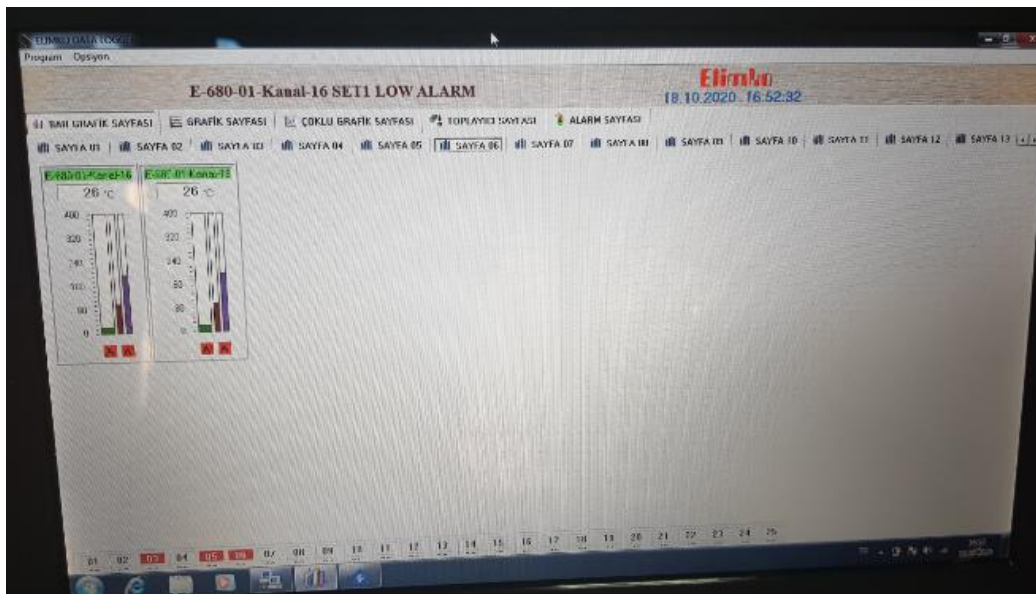
Şekil 5.18. Deney Düzeneği Termokupl Bağlantı Şeması

Her bir hava hızı için gerçekleştirilen deneyler hem bilgisayar ortamında kaydedilirken hem de 10 dakika aralıkla elde edilen veriler Şekil 5.19.'daki çizelgelere aktarıldı. Sıcaklık değerleri kaydedilirken eş zamanlı olarak radyasyon ölçümleri de kayıt altına alındı. Kollektör çıkışındaki hava hızları belirli periyotlarda kontrol edilerek, olası hava hızı değişikliklerin önüne geçilmiş oldu.

GÜNEŞ PANELİ GÜNLÜK VERİ TABLOSU										4 m/sn										
SÜRE (SAAT)	KANTÇIKLI					BOŞ					METAL TALAŞLI					PARAFİNLİ				
	Kollektör Giriş Sıcaklığı	Kollektör içi alt yüzey sıcaklığı	Kollektör içi orta yüzey sıcaklığı	Kollektör içi üst yüzey sıcaklığı	Kollektör çıkışı sıcaklığı	Kollektör Giriş Sıcaklığı	Kollektör içi alt yüzey sıcaklığı	Kollektör içi orta yüzey sıcaklığı	Kollektör içi üst yüzey sıcaklığı	Kollektör çıkışı sıcaklığı	Kollektör Giriş Sıcaklığı	Kollektör içi alt yüzey sıcaklığı	Kollektör içi orta yüzey sıcaklığı	Kollektör içi üst yüzey sıcaklığı	Kollektör çıkışı sıcaklığı	Kollektör Giriş Sıcaklığı	Kollektör içi alt yüzey sıcaklığı	Kollektör içi orta yüzey sıcaklığı	Kollektör içi üst yüzey sıcaklığı	Kollektör çıkışı sıcaklığı
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
08:30																				
08:40																				
08:50																				
09:00																				
09:10																				
09:20																				
09:30																				
09:40																				
09:50																				
10:00																				
10:10																				
10:20																				
10:30																				
	1 ms	1,5 ms	2 ms	2,5 ms	3 ms	3,5 ms	4 ms													

Şekil 5.19. Deney Verileri Çizelgesi

Şekil 5.19.'daki çizelge verileri doldurulduktan sonra sistemdeki her bir kollektörde meydana gelen ortalama sıcaklık, sıcaklık farkı ve verim gibi bazı genel bilgilerin hesaplanması için veriler toplanmış oldu. Deneylerin yapıldığı esnada hava şartlarında oluşan farklılıklar (gölgeleme vb.) not edilerek oluşabilecek sıcaklık değerlerindeki artış veya azalışların sonuçları anlamlandırılması hedeflendi. Şekil 5.20.'de Elimko-680 Data Logger'dan alınan verilerin bilgisayardan okunup kaydedildiği görülmektedir.



Şekil 5.20. Sıcaklık Değerlerinin Okunup Kaydedilmesi

5.4. Hesaplamalar

Deneyde kullanılan kollektörlerin giriş sıcaklığı T_g ve çıkış sıcaklığı da $T_ç$ ile ifade edilirse oluşacak sıcaklık farkı,

$$\Delta T = T_ç - T_g \quad (5.1)$$

Formülüyle hesaplanacaktır. Ortalama sıcaklık değeri T_{ort} olarak ifade edilirse,

$$T_{ort} = (T_g + T_ç) / 2 \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

Havalı güneş kollektörüne ait ısı verim hesabı aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{verim} = \frac{Q_K}{I \cdot A_k} \quad (5.3)$$

η_{verim} : Kollektör Verimi

Q_k : Kollektörden alınabilen kullanılabilir enerji (W)

I : Kollektör üst yüzeyine ulaşan ışıyım miktarı (W/m^2)

A_k : Kollektör alanı (m^2)

Eşitliğe bakıldığında ısı verimin kollektörden alınanabilen enerjinin, aynı zamanda kollektör yüzeyine 90^0 açıda ulaşan güneş enerjisine oranı şeklinde olduğu görülür.

Kollektörden alınabilen enerji aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Q_K = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{ort} \quad (5.4)$$

Yukarıdaki denklemde;

Q : Havaya aktarılan enerji (kWh)

$\dot{m}$: Kütlesel debi (kg/s)

C_p : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg°C)

ΔT_{ort} : Kollektörden çıkan ve giren havanın sıcaklık farkı (°C)

Kütlesel Debi

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_c \quad (5.5)$$

ile hesaplanır. Yukarıdaki denklemde;

ρ : Havaya ait yoğunluk değeri (kg/m³)

V : Havaya ait akış hızı(m/s)

A_c : Kollektörün çıkış kesit alanıdır.(m²)

Deneyde kullanılan kollektörler için verilen havanın çıkış hızlarına karşılık (1m/s, 1,5m/s - 2m/s - 2,5m/s - 3m/s - 3,5m/s ve 4m/s) oluşan kütlesel debi miktarları da sırasıyla 0,059kg/s, 0,089kg/s, 0,118kg/s, 0,148kg/s, 0,178kg/s, 0,207kg/s ve 0,237kg/s olarak hesaplanmıştır.

Deneydeki akışın türünün laminar veya türbülanslı olduğunu anlayabilmek amacıyla Reynolds sayısına (Re) bakılması gerekir. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı şeklinde tanımlanır.

$$\text{Reynold Sayısı} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (5.6)$$

ρ : Yoğunluk (kg/m³)

V : Akışkanın Hızı (m/s)

D : Boru Çapı (m)

μ : Akışkanın Dinamik Viskozitesi (kg/ms)

Çalışmada L=0,05m sistemdeki hava hızı 1m/s için Reynold Sayısı

$$\text{Reynold Sayısı} = \frac{\rho.V.L}{\mu} = \frac{1,225 \times 1 \times 0,05}{1,78 \times 10^{-5}} = 3.441$$

Olarak hesaplanmıştır. Yedi farklı akışkan hızından (1m/s, 1,5m/s, 2m/s, 2,5m/s, 3m/s, 3,5m/s ve 4m/s) dolayı yedi farklı Reynold sayısı için hesaplamalar yapılmıştır.

Nusselt sayısı taşınım yoluyla oluşan ısı transferinin, iletimle ile meydana gelen ısı transferine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Sistemdeki Nusselt sayısı ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{q_{\text{taşınım}}}{q_{\text{iletim}}} = \frac{h\Delta T}{\frac{k\Delta T}{L}} = \frac{h \cdot L}{k} \quad (5.7)$$

h : Isı transfer taşınım katsayısı (W/m².K)

L : Karakteristik Uzunluk (m)

k : Isı transfer iletim katsayısı (W/m.K)

5.4.1. Belirsizlik analizi

Deneylerin sonucunda bulunan değerler standartlara uygun olan ölçüm cihazları ile bulunmuştur. Ancak cihazlar uygun koşullarda kullanılsalar da verilerin alınmasında bazı hatalar meydana gelebilir. Cihazın belirlenmesi, deney koşulları, cihazlardaki kalibrasyon ayarları, dataların okunması, iklim şartları gibi parametreler bazı hata ve belirsizliklere yol açabilir. Deneysel çalışmada kullanılan bu cihazlarda meydana gelebilecek hatalar belirsizlik analizi ile çözümlenmesi amaçlanmıştır. Deneylerin sağlıklı yapılması açısından belirsizlik analizinin yapılması önem arz etmektedir. Sistemdeki toplam belirsizlik analizi aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.8)$$

Formülde kullanılan ibareler;

S : Ölçülmesi gereken büyüklük

x1, x2, x3 : Bağımsız değişken değerleri

n : Bağımsız değişken sayısı

w1, w2, w3 : Bağımsız değerlere ait hata oranları

W_s : Toplam belirsizlik değeri

Deneydeki akışın debisini ölçmek amacıyla debimetre cihazı kullanılmıştır. Cihazdan kaynaklanabilecek hatalar cihazın kendisi (belirsizlik oranı 0,03) ve okuması (belirsizlik oranı 0,01) esnasındaki hatalardır. Belirsizlik oranı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$W_s = [(W_{cihaz})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \quad (5.9)$$

$$W_s = [(0,03)^2 + (0,01)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 0,0316 \text{ g/s}$$

Deneydeki sıcaklık ölçümleri için belirsizlik hesabı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır. Dataloger cihazından kaynaklı belirsizlik 0,5 ; cihazın sıcaklığı okumasından kaynaklanan belirsizlik 0,5; cihazın bağlantı noktalarından kaynaklanan belirsizlik 0,25 olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik şöyle olacaktır.

$$W_s = [(W_{dataloger})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2]^{1/2} \quad (5.10)$$

$$W_s = [(0,5)^2 + (0,5)^2 + (0,25)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 0,75^\circ\text{C}$$

Güneş radyasyon değerlerini ölçmek için kullanılan ölçüm cihazından kaynaklı belirsizlik değeri 0,05 ve ışınım şiddetinin okunması esnasındaki belirsizlik değeri 1 olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik değeri aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır.

$$W_s = [(W_{solar\ metre})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \quad (5.11)$$

$$W_s = [(0,05)^2 + (1)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 1,001 \text{ W/m}^2$$

Hesaplanan belirsizlik değerleri kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür. Toplam belirsizlik değerleri Tablo 5.7.'deki çizelgede gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Toplam Belirsizlik Analizi Tablosu

Cihazlar	Teknik Özellikleri	Hassasiyet Değeri	Toplam Belirsizlik
Debimetre (Kestrel 2000)	Ölçüm aralıkları 0,1-40 m/s	$\pm 0,01$ g/s	$\pm 0,0316$ g/s
Data Logger (Elimko-680)	K tipi; ölçüm aralığı -60 °C - +280 °C	$\pm \%0,5$ °C	$\pm \%0,75$ °C
Solar Metre Sinometer SM206	Solarimetre Ölçüm aralığı 0,1 W/m ² – 1399 W/m ²	$\pm 0,05$ W/m ²	$\pm 1,001$ W/m ²

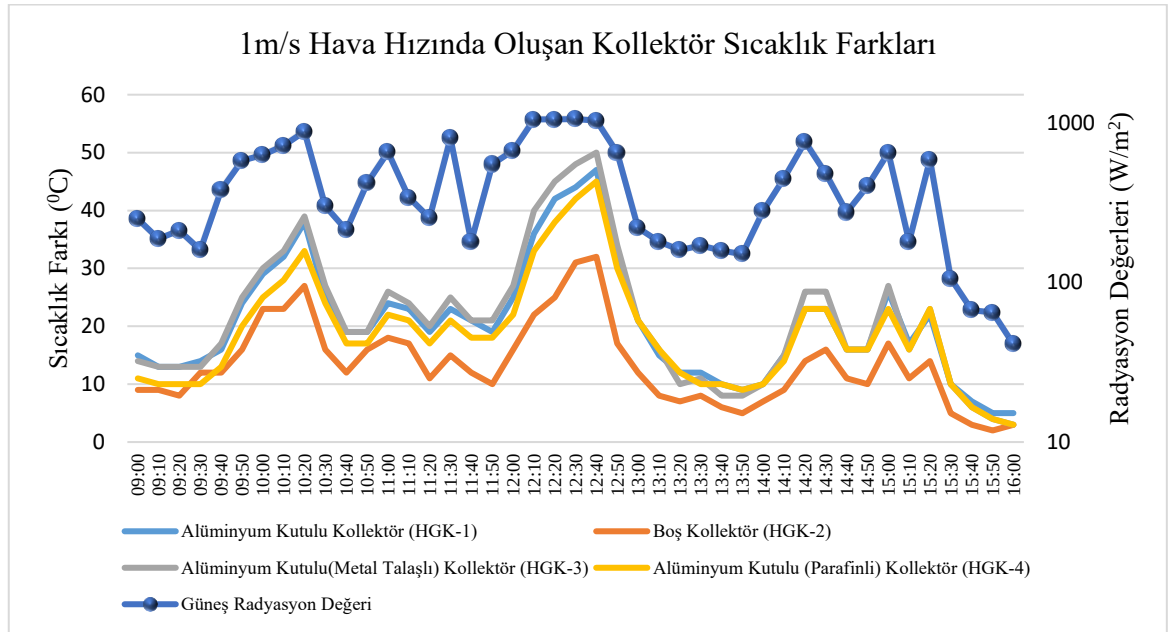
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerden elde edilen veriler; hava hızı, kollektör türü, sıcaklık farkı ve verim değerleri gibi parametrelere göre sınıflandırılıp ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

6.1. Farklı Hava Hızlarında Kollektörlerde Meydana Gelen Sıcaklık Farkları

Yapılan deneyde yedi farklı hava hızına göre kollektörlerde meydana gelen giriş ve çıkış sıcaklık farklarının sonuçları incelenmiştir.

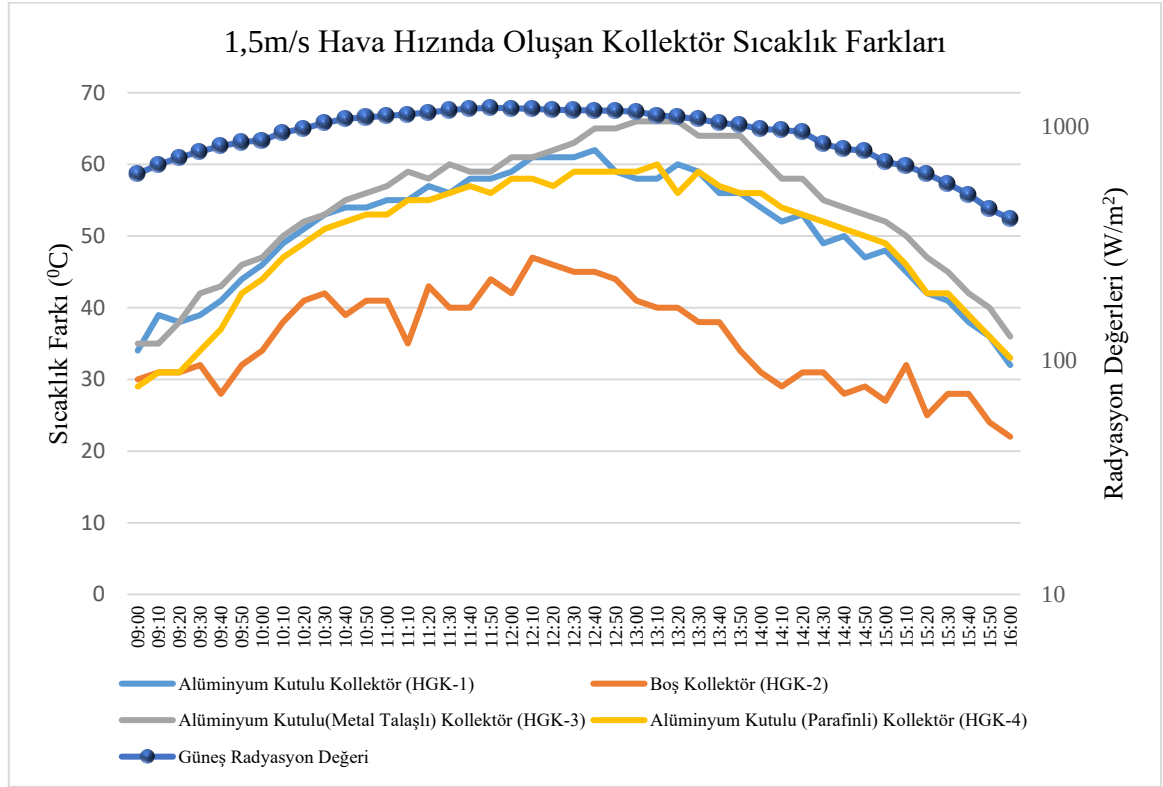
6.1.1. Hava hızı 1m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları



Şekil 6.1. 1m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

1m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.1.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 250 W/m^2 ile başlamış olup, saat 12:30'de maksimum seviye olan 1.055 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 41 W/m^2 seviyesine düşmüştür. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile paralel olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Hava şartlarının değişkenliğinden (bulutlanma) dolayı oluşan radyasyon değerlerindeki azalma ve artış miktarları, benzer şekilde sıcaklık farklarında da ortaya çıkmaktadır. Kollektörler arasında sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 12:40'da 50°C 'lik fark ile Alüminyum Kutulu Metal Talaşlı Kollektörde (HGK-3) olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-1, HGK-2, ve HGK-4 için 47°C , 32°C ve 45°C olduğu gözlemlenmiştir.

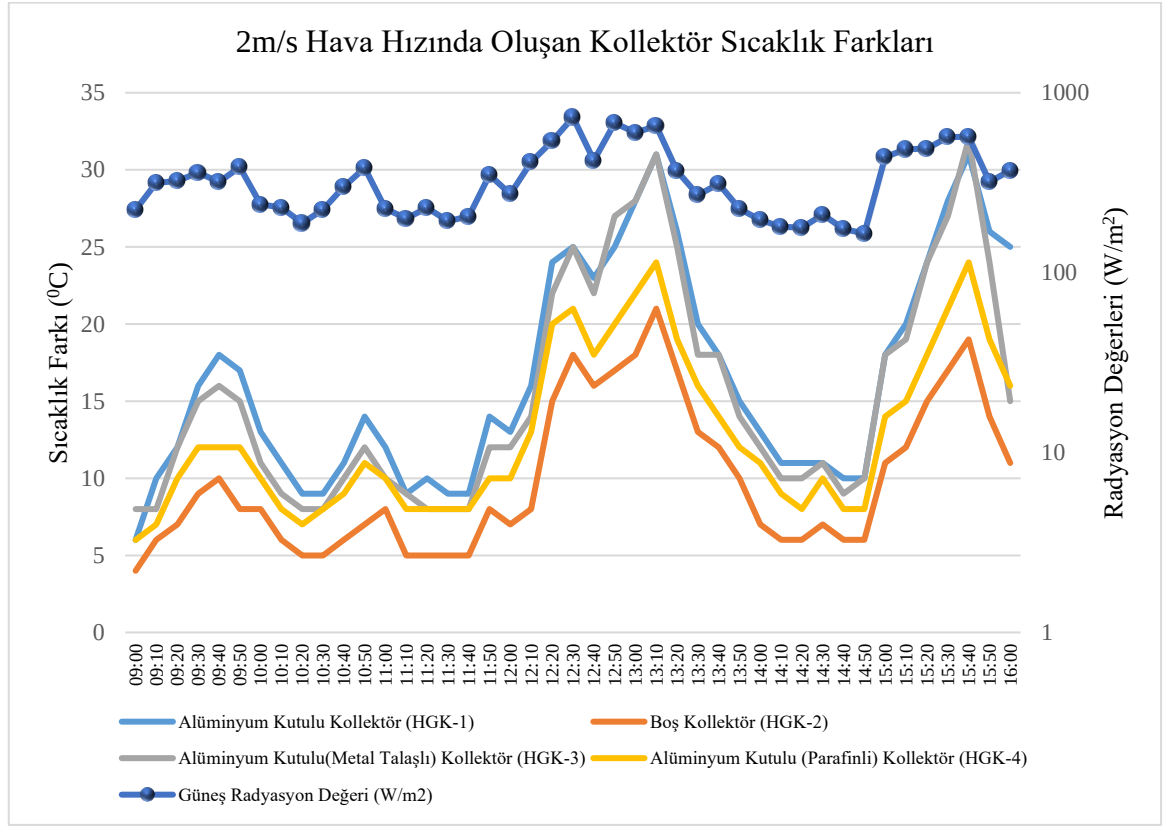
6.1.2. Hava hızı 1,5m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları



Şekil 6.2. 1,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

1,5m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.2.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 630 W/m^2 ile başlamış olup, saat 11:50'de maksimum seviye olan 1.205 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 405 W/m^2 seviyesine düşmüştür. Gün boyunca havada bulutlanma olmadığından güneşten gelen radyon değerleri belirli bir oranda doğrusal bir şekilde artmış sonrasında da aynı şekilde azalma göstermiştir. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile paralel olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 13:00'da 66°C 'lık fark ile HGK-3'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-1, HGK-2, ve HGK-4 için 58°C , 41°C ve 59°C olduğu gözlemlenmiştir.

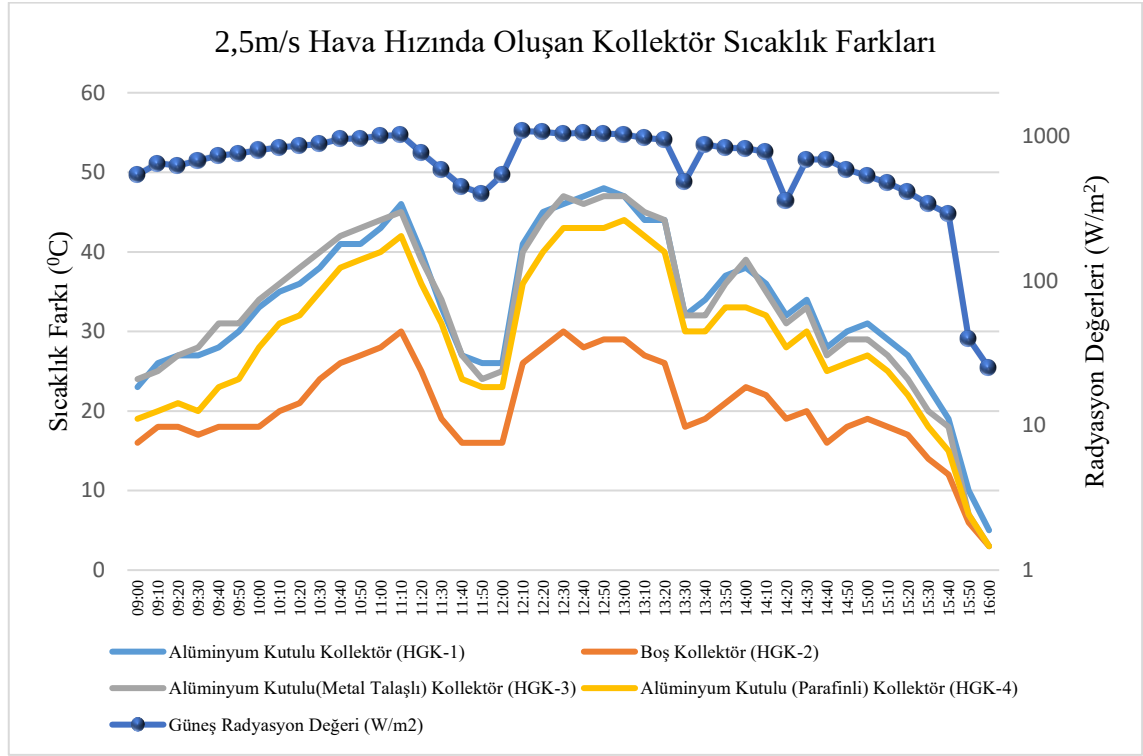
6.1.3. Hava hızı 2m/s olan kollektörde sıcaklık farkları



Şekil 6.3. 2m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

2m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.3.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 224W/m² ile başlamış olup, saat 12:30'da maksimum seviye olan 730W/m²'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 370W/m² seviyesine düşmüştür. Gün boyunca hava şartları bulutlu olduğundan dolayı radyasyon değerleri düşük olarak ölçülmüştür. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile paralel olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 13:10'da 32°C'lik fark ile HGK-3'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-1, HGK-2, ve HGK-4 için 31°C, 21°C ve 24°C olduğu gözlemlenmiştir.

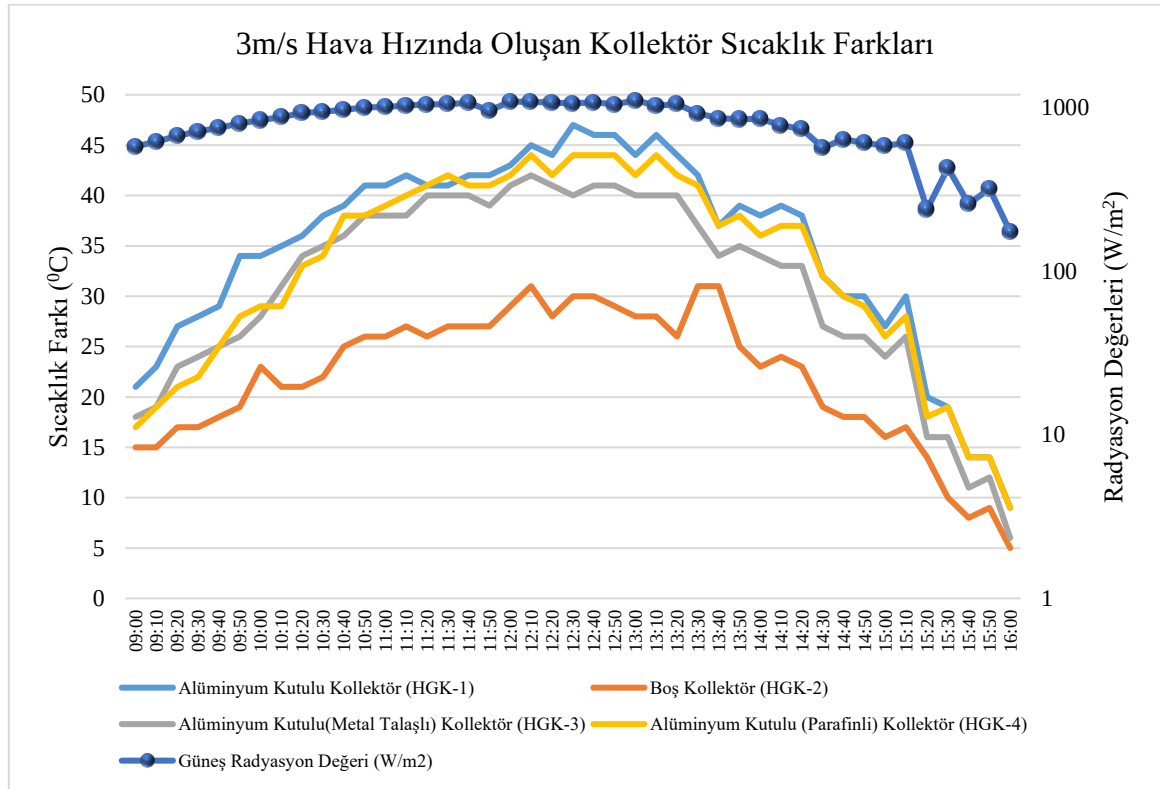
6.1.4. Hava hızı 2,5m/s olan kollektörde sıcaklık farkları



Şekil 6.4. 2,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

2,5m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.4.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 540 W/m^2 ile başlamış olup, saat 12:10'de maksimum seviye olan 1.085 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 25 W/m^2 seviyesine kadar düşmüştür. Hava şartlarının değişkenliğinden (bulutlanma) dolayı oluşan radyasyon değerlerindeki azalma ve artış miktarları, benzer şekilde sıcaklık farklarında da ortaya çıkmaktadır. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile benzer şekilde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 13:00'da 48°C 'lik fark ile HGK-1'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-2, HGK-3, ve HGK-4 için 30°C , 47°C ve 44°C olduğu gözlemlenmiştir.

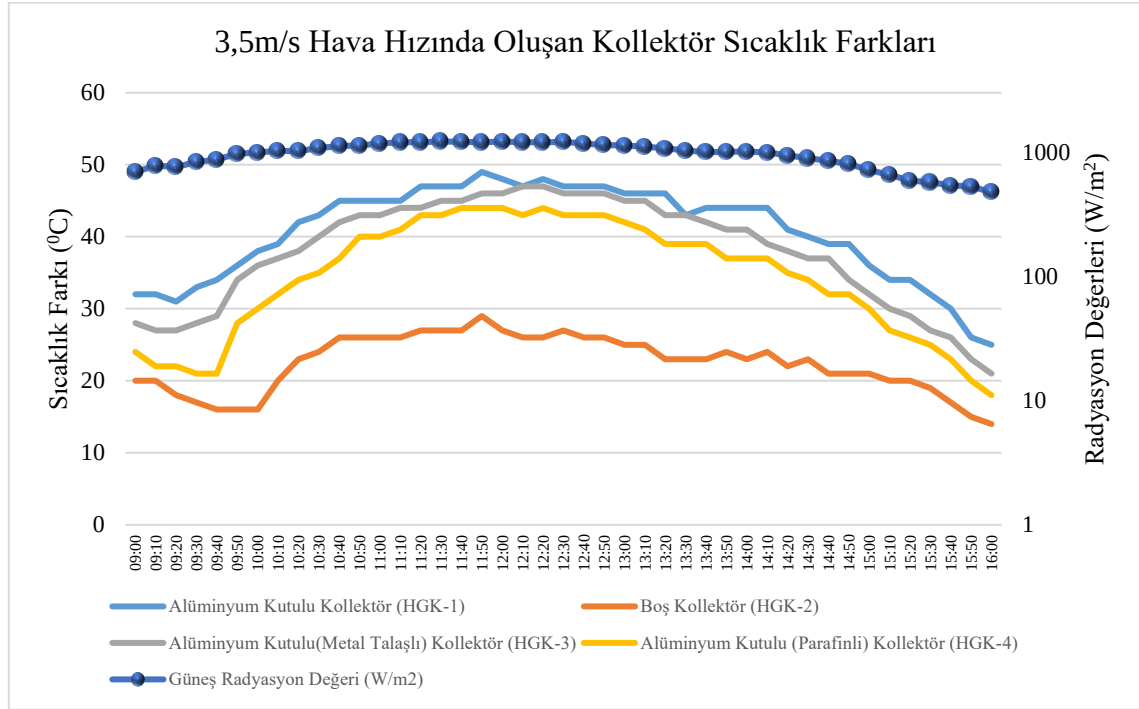
6.1.5. Hava hızı 3m/s olan kollektörde sıcaklık farkları



Şekil 6.5. 3m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

3m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.5.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 580 W/m^2 ile başlamış olup, saat 13:00'de maksimum seviye olan 1.110 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 174 W/m^2 seviyesine kadar düşmüştür. Gün boyunca havada bulutlanma az olduğundan güneşten gelen radyon değerleri belirli bir oranda doğrusal bir şekilde artmış sonrasında da aynı şekilde azalma göstermiştir. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile paralel olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 12:30'da 47°C 'lik fark ile HGK-1'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-2, HGK-3, ve HGK-4 için 30°C , 40°C ve 44°C olduğu gözlemlenmiştir.

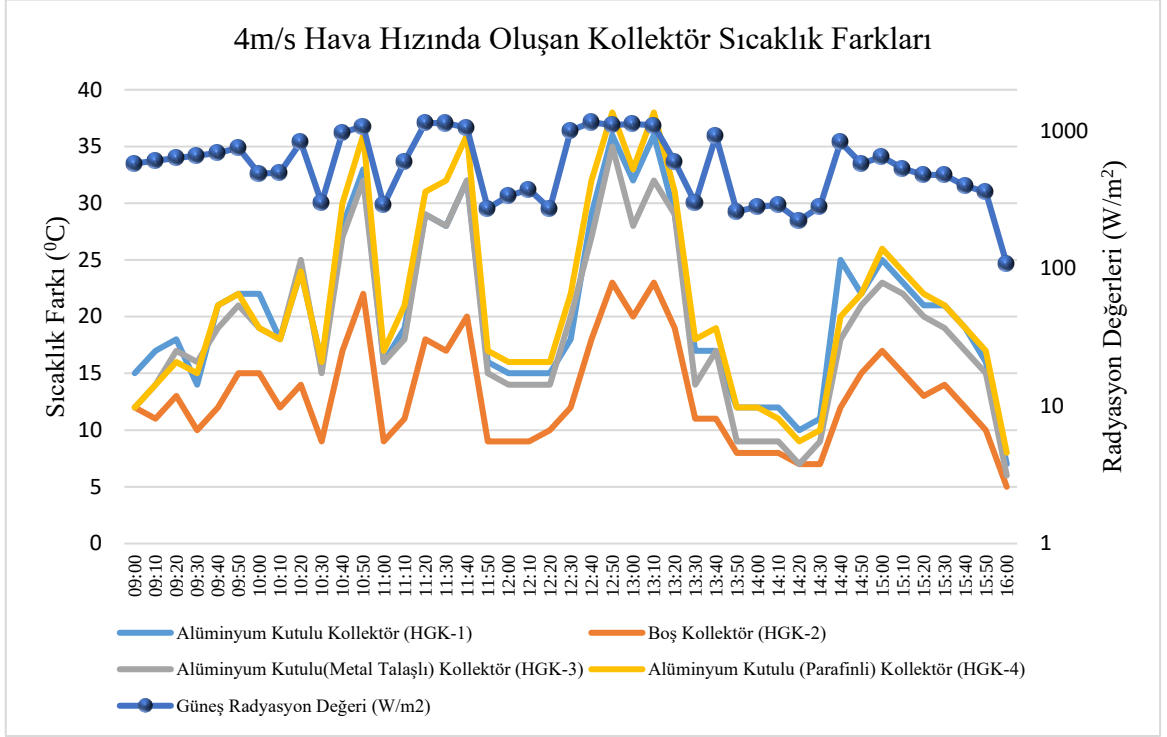
6.1.6. Hava hızı 3,5m/s olan kollektördeki sıcaklık farkları



Şekil 6.6. 3,5m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

3,5m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.6.'daki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 690 W/m^2 ile başlamış olup, saat 11:30'da maksimum seviye olan 1.2180 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 475 W/m^2 seviyesine kadar düşmüştür. Gün boyunca havada bulutlanma fazla olmadığından güneşten gelen radyon değerleri belirli bir oranda doğrusal bir şekilde artmış sonrasında da aynı şekilde azalma göstermiştir. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile paralel olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 11:50'da 49°C 'lık fark ile HGK-1'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-2, HGK-3, ve HGK-4 için 29°C , 46°C ve 44°C olduğu gözlemlenmiştir.

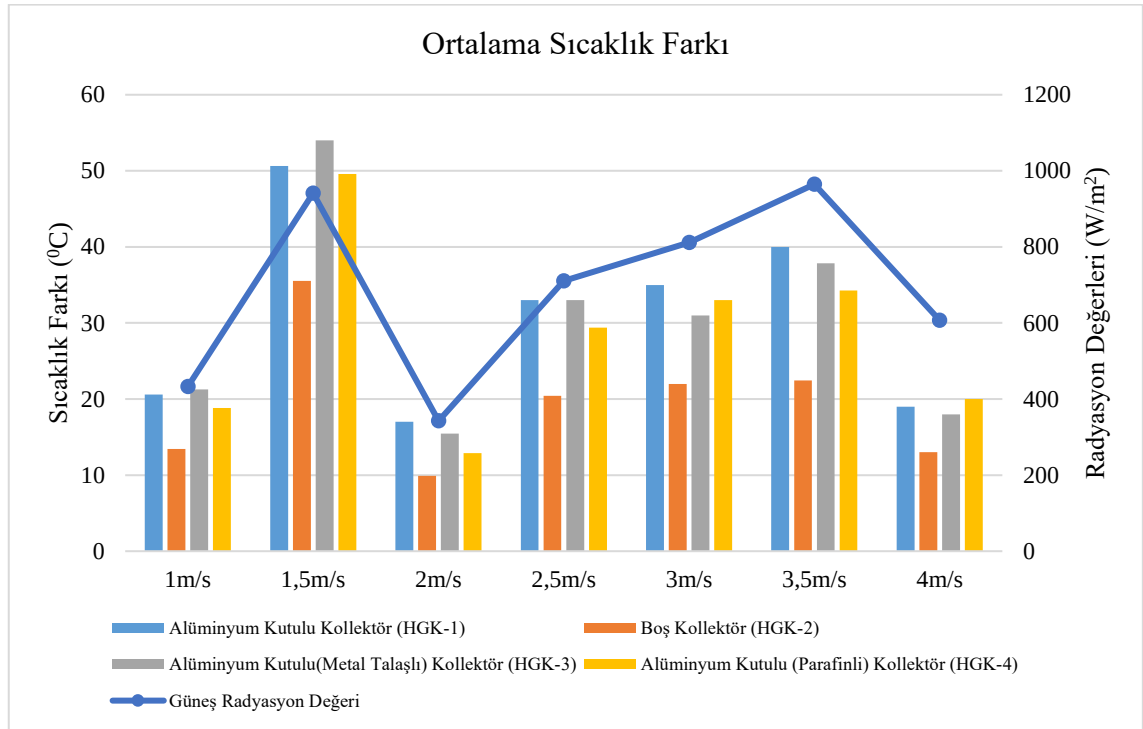
6.1.7. Hava hızı 4m/s olan kollektörde sıcaklık farkları



Şekil 6.7. 4m/s Hava Hızında Kollektörde Oluşan Sıcaklık Farkları

4m/s hava hızında yapılan ölçümlere ait Şekil 6.7.'deki grafik incelendiğinde; güneş radyasyon değeri saat 09:00'da 580 W/m^2 ile başlamış olup, saat 12:40'de maksimum seviye olan 1.160 W/m^2 'lik değere ulaşmış ve saat 16:00'da 108 W/m^2 seviyesine kadar düşmüştür. Hava şartlarının değişkenliğinden (bulutlanma) dolayı oluşan radyasyon değerlerindeki azalma ve artış miktarları, benzer şekilde sıcaklık farklarında da ortaya çıkmaktadır. Grafiğe bakıldığında sıcaklık farkları radyasyon değerleri ile benzer şekilde değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Kollektörler arasındaki sıcaklık farkları incelendiğinde en yüksek sıcaklık farkının saat 13:10'da 38°C 'lik fark ile HGK-4'de olduğu, diğer kollektörlerde ise sırasıyla HGK-1, HGK-2, ve HGK-3 için 36°C , 23°C ve 35°C olduğu gözlemlenmiştir.

6.1.8. Tüm hava hızlarına göre ortalama sıcaklık farkları

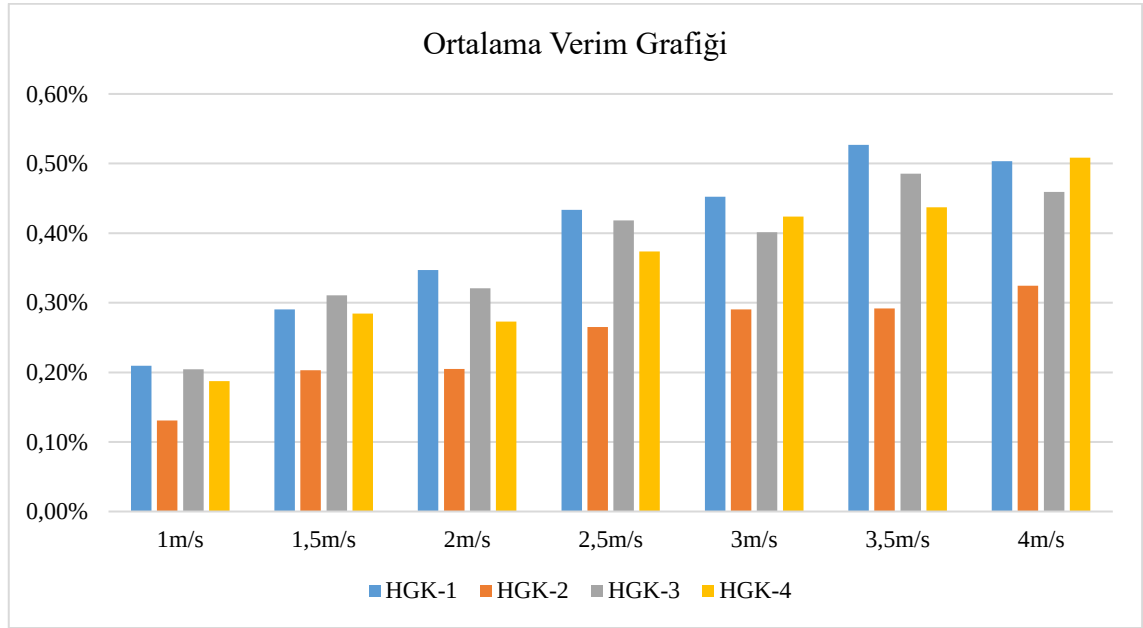


Şekil 6.8. Tüm Hava Hızlarına Göre Ortalama Sıcaklık Farkları

Tüm hava hızları için Şekil 6.8.'de gösterilen kolektörlerde meydana gelen gün içindeki ortalama sıcaklık farkları incelendiğinde; en yüksek sıcaklık farkının 1,5m/s hava hızında meydana geldiği görülmektedir. Bu hava hızında oluşan ortalama maksimum sıcaklık farkı 941 W/m² ortalama radyasyon değeri için en yüksek 54°C ile HGK-3 kolektörü, diğer kolektöre bakıldığında sırasıyla HGK-1, HGK-2, HGK-4 için 51°C, 36°C ve 50°C olarak ölçülmüştür. Ortalama sıcaklık farkı en düşük değerler 343 W/m² ortalama radyasyon değerlerinde 2m/s hava hızında oluşmuştur. Hava hızlarına göre en yüksek ortalama sıcaklık farkları 1m/s hava hızında HGK-3 için 21°C, 1,5m/s hava hızında HGK-3 için 54°C, 2m/s hava hızında HGK-1 için 17°C, 2,5m/s hava hızında HGK-3 için 33°C, 3m/s hava hızında HGK-1 için 35°C, 3,5m/s hava hızında HGK-1 için 40°C ve 4m/s hava hızında HGK-4 için 20°C olarak ölçülmüştür.

6.2. Kollektörlerdeki Verim Analizleri

6.2.1. Ortalama verim grafiği



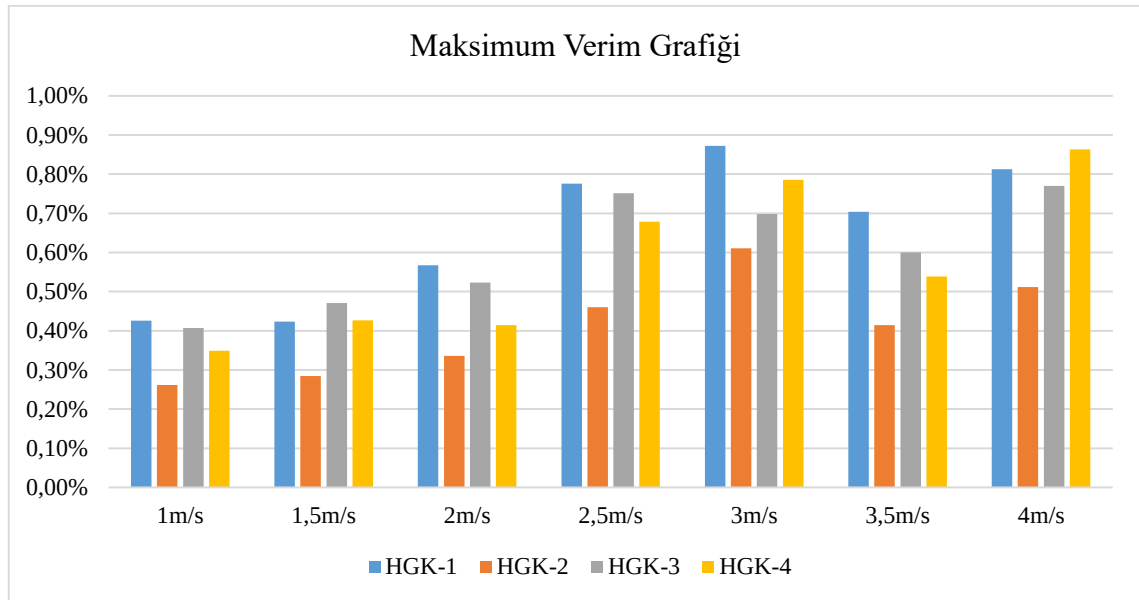
Şekil 6.9. Kollektörlerde Oluşan Günlük Ortalama Verim Grafiği

Farklı hava hızlarında HGK-1, HGK-2, HGK-3 ve HGK-4'deki havalı güneş kollektörlerinde meydana gelen Şekil 6.9.'daki günlük ortalama verim değerleri incelendiğinde hava hızında meydana gelen değişimlerin sonucuna göre ortalama verimlerin de değiştiği gözlemlenmiştir. 1m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %21 ile HGK-1 kollektöründe, 1,5m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %31 ile HGK-3 kollektöründe, 2m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %35 ile HGK-1 kollektöründe, 2,5m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %43 ile HGK-1 kollektöründe, 3m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %45 ile HGK-1 kollektöründe 3,5m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında en yüksek verim değerinin %53 ile HGK-1 kollektöründe ve 4m/s hava hızındaki ortalama verim değerlerine bakıldığında ise en yüksek verim değerinin %51 ile HGK-4 kollektöründe olduğu gözlemlenmiştir.

Kollektörlerdeki hava hızlarının artmasıyla beraber ortalama ısı verim değerlerinin de arttığı görülmektedir. HGK-1 için 1m/s hava hızında %21 olan ısı veriminin 4m/s hava hızında %50 ısı verimine ulaştığı, HGK-2 için 1m/s hava hızında %13

olan ısı veriminin 4m/s hava hızında %32 ısı verime ulaştığı, HGK-3 için 1m/s hava hızında %20 olan ısı veriminin 4m/s hava hızında %46 ısı verime ulaştığı, HGK-4 için 1m/s hava hızında %19 olan ısı veriminin 4m/s hava hızında %51 ısı verime ulaştığı görülmüştür. 1m/s ile 4m/s arasındaki tüm hava hızlarında meydana gelen ortalama verim değerlerindeki artış miktarına bakıldığında en yüksek verim artışının %168 ile HGK-4 olduğu, diğer kollektörlere sırayla bakıldığında HGK-1, HGK-2 ve HGK-3 için %138, %146 ve %130 ortalama verim artışının olduğu görülmüştür.

6.2.2. Oluşan maksimum verim grafiği



Şekil 6.10. Kollektörlerde Oluşan Günlük Maksimum Verim Grafiği

Değişken hava hızları için kollektörlerde oluşan Şekil 6.10.'daki maksimum verim değerleri incelendiğinde; maksimum verim değerlerinin hava hızlarına göre değiştiği görülmüştür. 1m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %43 ile HGK-1'de, 1,5m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %47 ile HGK-3'de, 2m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %57 ile HGK-1'de, 2,5m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %78 ile HGK-1'de, 3m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %87 ile HGK-1'de, 3,5m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %70 ile HGK-1'de ve 4m/s hava hızındaki maksimum verim değeri %86 ile HGK-4 kollektöründe meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları literatürde yapılan çalışmalar ile mukayese edilmiş olup, aşağıdaki Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yazar	Kollektör Yapısı	Sisteme Verilen Hava Miktarları	Verim (%)	
Kırbaş (2006)	Labirent tipte metal çubuk yerleştirilmiş	1,3m/s	73	
		1,4m/s	76	
		1,5m/s	82	
Özgen (2007)	Tip I (Karmaşık sıra)	0,03kg/s	50	
		0,05kg/s	73	
	Tip II (Düzgün sıra)	0,03kg/s	45	
		0,05kg/s	58	
	Tip III (Kutusuz)	0,03kg/s	41	
		0,05kg/s	53	
Bayrak (2011)	Alüminyum köpükler (6mm) şaşırtmalı yerleştirilmiş	0,016kg/s	63	
		0,025kg/s	77	
		0,022kg/s	46	
	Model-1 (Düz kanatsız)	0,033kg/s	53	
		0,044kg/s	56	
		0,022kg/s	50	
Kılıç (2018)	Model-2 (Trapez kesit, kanatsız)	0,033kg/s	55	
		0,044kg/s	60	
		0,022kg/s	59	
	Model-3 (Trapez kesit, kare kanatlı)	0,033kg/s	59	
		0,044kg/s	61	
		0,022kg/s	63	
Tuncer (2018)	Model-4 (Trapez kesit, dikdörtgen kanatlı)	0,033kg/s	65	
		0,044kg/s	68	
		0,044kg/s	77	
	Bakır elek telli yüzey	0,044kg/s	77	
		Bakır elek telli yüzey (β:35)	0,055kg/s	87
		Bakır yünü örtülü yüzey	0,044kg/s	73
Külcü ve Emen (2019)	Boş		38	
		Metal Sünger	49	
		Metal Talaşı	61	
		Andezit Taşı	68	
Efe (2019)	Farklı dolgu malzemeleri kullanılan kollektörler		63	
			70	
	Silindirik teneke kutuları ve FDM kapsülleri yerleştirilmiş	Tip I (Şaşırtmalı sırada)	0,03kg/s	60
		Tip II (Şaşırtmasız sırada)	0,05kg/s	66
	Bu çalışma	HGK-1 (Alüminyum Kutulu)	1m/s	43
			1,5m/s	47
2m/s			57	
2,5m/s			78	
3m/s			87	
3,5m/s			70	
Kanatçık yapıda tasarlanmış Alüminyum kutulu	HGK-4 (Alüminyum Kutulu-Parafin)	4m/s	86	

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında iç yüzey geometrisi farklı, kanatçık yapıda tasarlanmış hava ısıtılmalı güneş kollektörlerinin ısıl performansının deneysel analizi Batman ili iklim şartlarında yapılmıştır. Yedi farklı hava hızlarında (1m/s -1,5m/s - 2m/s - 2,5m/s - 3m/s - 3,5m/s ve 4m/s), iç yapıları birbirinden farklı geometrilerdeki kollektörler (HGK-1, HGK-2, HGK-3, HGK-4) ile gerçekleştirilen deneyden elde edilen veriler çeşitli bilimsel hesaplamalar ile çözümlenmiş ve bulunan değerler karşılaştıma yapılarak yorumlanmıştır. Hava ısıtılmalı güneş kollektörlerindeki verimi ve çıkış sıcaklığı arttırmak amacıyla kollektörlerin içine yerleştirilen farklı geometri ve yapıdaki sabit elemanlar sayesinde türbülans artışı hedeflenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

Yapılan deneyde kanatçık yapıda tasarlanan kollektörlerin hava sıcaklık farkı değerlerinin tüm hava hızları için boş yapıdaki kollektöre göre daha fazla olduğu ve bununla birlikte verimlerin de yüksek olduğu görülmüştür. 1m/s hava hızı için boş olan HGK-2 kollektörüne göre ortalama sıcaklık farkı artışı en yüksek HGK-3 için %59, 1,5m/s hava hızında HGK-3 için %52, 2m/s hava hızında HGK-1 için %62, 2,5m/s hava hızında HGK-3 için %61, 3m/s hava hızında HGK-1 için %57, 3,5m/s hava hızında HGK-1 için %78 ve 4m/s hava hızında HGK-4 için %58'lik artış oranı gözlemlenmiştir.

1m/s ile 4m/s arasında meydana gelen hava hızlarındaki artış miktarı, bütün kollektörlerin anlık ve günlük ortalama verim değerlerini genel olarak arttırdığı gözlemlenmiştir. 1m/s hava hızında en yüksek ortalama verim değeri %21 ile HGK-1 kollektöründe, 1,5m/s hava hızında en yüksek ortalama verim değeri %31 ile HGK-3 kollektöründe, 2m/s - 2,5m/s - 3m/s ve 3,5m/s hava hızlarında da en yüksek verim değeri HGK-1 için %35, %43, %45 ve %53 kollektöründe, 4m/s hava hızında en yüksek ortalama verim değerinde ise HGK-4 kollektörü %51 verim değeri bulunmuştur. Hava hızının artmasıyla kollektörün içerisindeki sıcaklık değerleri düşer. Bu şekilde kollektördeki yüzey sıcaklığı azalır ve dış çevreye olan ısı kayıpları da düşer. Bunların neticesinde kollektörden havaya aktarılan faydalı enerji artacağından ısı verim değerleride yükselmiştir.

Farklı geometrik şekilde tasarlanan kollektörlerin hava çıkış sıcaklıkları ile verim değerlerindeki artış miktarları incelendiğinde farklı hava hızlarında değişkenlik gösterdikleri anlaşılmıştır. Yapılacak çalışmalarda 1m/s- ile 3,5m/s hızları arasında tercih

edilecek kollektör tipleri için HGK-1 ve HGK-3 kollektörünün uygun olduğu, 4m/s hava hızında ise HGK-4 tipi kollektörün tercih edilmesi faydalı olacaktır.

Yenilebilir enerji kaynakları arasında bulunan havalı güneş kollektörlerinin yaygınlaştırılması, ülkemizin enerji ihtiyaçlarının giderilmesi noktasında hem temiz bir enerji kaynağı olması, hem de ekonomik olması önemini arttırmaktadır.

7.2 Öneriler

- Hava ısıtılmalı güneş kollektörlerindeki ısı verimin artırılması amacıyla, bu çalışmada denenmeyen farklı türdeki dolgu veya farklı kanatçık yapıdaki malzemeler kullanılabilir.
- Kollektörler farklı eğim açısı veya kanal yapısı tercih edilerek ısı verim analizleri yapılabilir.
- Isı depolama malzemesi olarak farklı geometrik yapıda ve özellikte FDM malzemeleri tercih edilebilir.
- Hava ısıtılmalı güneş kollektöründe bulunan düzlemsel yapıdaki yutucu plaka dışında farklı yapıdaki yutucu plakaların tercih edilerek ısı verimleri incelenebilir.
- Kapasitesi büyük fanlar ile, daha yüksek hava hızlarında kollektörlerin ısı verim değişimleri incelenerek uygun hava hızları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdullah A.S., Amro M.I., Younes, M.M. Omara Z.M., (2020) Essa Experimental investigation of single pass solar air heater with reflectors and turbulators Alexandria University Alexandria Engineering Journal Volume 59, Issue 2, April 2020, Pages 579-587
- Amin, Z. M., Hawladier, M. N. A. (2013) A review on solar assisted heat pump systems in Singapore, Renewable and Sustainable Energy Reviews,26, 286- 293
- Anonim 2021a YEGM. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 29.05.2021. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Anonim 2021b Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü Erişim Tarihi : 26.05.2021 <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir>.
- Anonim 2021c Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) Erişim Tarihi : 10.06.2021 <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Anonim 2021ç Türkiye Coğrafi Konum bilgisi Erişim Tarihi 06.06.2021 https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_co%C4%9Frafyas%C4%B1
- Anonim 2021d Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı Güneş Enerjisi Sektör Raporu 2011 Erişim Tarihi : 29.05.2021 <http://baka.gov.tr/uploads/1303486512gunes-Turkce-Katalog.pdf>
- Anonim 2021e Seville. (2011) Solar energy even at night. Erişim Tarihi: 27.05.2021 https://elpais.com/diario/2011/10/05/sociedad/1317765606_850215.html
- Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Standard, “Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors”, ANSI/ASHRAE 93-1986 (RA 91), ISSN 1041-2336, 1991, GA.
- Altunsoy A. (2020) Farklı akış modellerine sahip havalı güneş kolektörlerinin ısı performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Konya
- Alan C. Tuna F.,(2013) Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli üzerine bir inceleme: Freiburg\Almanya karşılaştırılması, Türkiye Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi, İstanbul, Türkiye, 19-21 Haziran 2013.
- Bayrak, F., (2011). İçerisinde gözenekli engeller bulunan hava ısıtmalı güneş kolektörünün performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Battal G. (2017) Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin dolomit tuğlaları kullanılarak verimlerinin artırılması ve kurutmada uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi,

- Baetensa, R., Jelle, P., Gustavsen, A., (2010) Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 42,1361–1368.
- Benli H, Durmuş A (2007). Havalı güneş kolektörleri ve gizli ısı depolama yöntemi kullanılarak sera ısıtılması. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48(569), 16 - 25.
- Bhattacharyya, T., Anandalakshmi, R. ve Srinivasan, K., (2017), Heat Transfer Analysis on Finned Plate Air Heating Solar Collector for its Application in Paddy Drying, *Energy Procedia* (109), 353-360.
- Bolat B. (2016). Yoğunlaştırıcı güneş panellerinde ısı deposu olarak parafin kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi. Karabük.
- Bostan I, Gheorghe VD, Sobor I, Bostan V, Sochirean A. Resilient energy systems. Netherland: Springer Verlag; 2013.
- Boz, O. H. (2011) Günümüzün alternatif enerji kaynağı: fotovoltaik güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Balıkesir
- Bulut H. ve Durmaz A. F. (2006) Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, imalatı ve Deneysel Analizi UGHE I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ Eskişehir
- Ceylan, İ , Aktaş, M , Doğan, H . (2006). Havalı Güneş Kolektörlü Ön Kurutucuda Kereste Kurutulması . *Politeknik Dergisi* , 9 (3) , 197-202 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33021/367115>
- Chaichan, M,T., Ali, J.A., Abass, K.I., (2018) Experinental study on solar Air Heating, *Al_ Khwarizmi Engineering Journal*, vol.14, No.1, P.P. 1-9.
- Dağ, H., (2005) Güneş enerji sistemlerinde kullanılan dairesel borulu kolektörler ile oval borulu kolektörlerin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Davidson B.J. (1980) et al., Large Scale Electrical Energy Storage, *İEE Review*, IEE Proceedings, 127 Part A.No. 6
- Darıcı, S.(2020). Tek geçişli bir havalı güneş kolektörü tasarımı, imalatı ve farklı kütle debilerinde ısı analizi . *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 35 (3) , 1187-1198 . DOI: 10.17341/gazimmfd.488518
- Dissa A.O., S.Ouoba, D.Bathiebo, J.Koulidiati (2016) Karma gözenekli ve gözeneksiz kompozit soğuruculu bir güneş hava kolektörü çalışması *Solar Energy Volume 129* May 2016 Pages 156-174
- Doğan M. (2015). Güneş Paneli Destekli Havalı Güneş Kollektörünün Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A.,(2013) Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons,

- Elibüyük, U. (2015) Süleyman Demirel üniversitesi için yeşil üniversite projeleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 140s, Isparta.
- Efe Ö. (2019) Gizli ısı depolamalı bir havalı güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi
- Ertunçay, N. (2016) Beyaz eşya uygulamaları için parafin ve poliethilen glikol bazlı faz değiştiren malzemelerin hazırlanması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Emen Y. (2020) Hava Isıtmalı Güneş Kolektörlerinin Dolgu Malzemeleri Kullanılarak Verimlerinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta
- Gill, R.S., Single, S., Singh, P.P., (2012) Low cost solar air heater . Energy Conversion and Management, 57,131-42.
- Guney, M.S. (2016) Solar power and application methods Renewable and Sustainable Energy Reviews 57 / 776–785
- Goldstein W., (1978) Thermal Energy Storage in Industry and Power Stations, in Proc. Int. Conf. on Energy Storage, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, UK,
- Hatipoğlu M. (2019) Parabolik çanak toplayıcılar ile sıcak su elde edilmesi Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Diyarbakır.
- İslam N. (2018). Isı depolu havalı güneş kolektörünün performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük.
- İşler, G. (2018) Parabolik oluk kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kuleleri ile enerji üretim analizi ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik
- Kallioğlu M.A, (2021) Güneş duvarının performansına etkileyen parametrelerin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Batman.
- Karaipekli, A. , (2006) Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısı iletkenliğinin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Karaipekli A.,(2006) Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısı iletkenliğinin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 182031.

- Kalogirou S. (2004) Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science; 30 : 231-295.
- Karim, M. A. ve Hawlader, M. N. A., (2004) Development of Solar Air Collectors for Drying Applications. Energy Conversion and Management, 45: 329-344.
- Kaya, S. ve Oğuz, M.E. (2015) Tesisat Yalıtımında Uygun Malzeme Seçimi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 8-11 Nisan 2015/ İzmir
- Kılıç, F.Ç. (2015). Güneş enerjisi, türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri, Mühendis ve Makine Dergisi , 56 (671) , 28-40
- Kılıç, F.Ç. (2011). “Türkiye’deki yenilenebilir enerjilerde mevcut durum ve teşviklerindeki son gelişmeler,” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 52, sayı 614, s. 103-115.
- Kırbaş İ. (2006) Havalı güneş kolektörünün performansının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kılıç A. (2018) Yeni bir havalı güneş kolektörü geliştirilmesi, performans analizi ve tarım ürünlerinin kurutulmasında uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi. Konya
- Kılıç, A.,Öztürk, A., (1983). Güneş Enerjisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Yayınları, İstanbul.
- Külcü. R , Emen, Y . (2019). Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin dolgu malzemeleri kullanılarak verimlerinin artırılması . SDÜ Yekarum e-Dergi , 4 (2) , 20-27 . Retrieved from
- Kurt S., (2012) Yeni nesil bina malzemeleri için faz değiştiren madde geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 304674.
- Köse, T. (2014) Isı borulu hava ve su ısıtma amaçlı güneş kolektörlerinin tasarımı imalatı ve deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Muhtaroglu, K.T. (2012) Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgen, F., (2007). Yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

- Özkaya, S. Y., (2004) Yenilenebilir enerji kaynakları, Uluslar Arası Ekonomik Sorunlar, T.C. Dışişleri Bakanlığı, Ankara, 14: 15-21
- Özbalta, N., Güngör, A., & Gürlek, A. G. G., (2003), Güneş enerjili hava toplayıcılarındaki gelişmeler ve tasarım parametrelerinin araştırılması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, V.76, 26 s.
- Öztürk, H. H., (2012) Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, 354s, İstanbul.
- Reddy, T.A., (2001), Handbook of heating ventilation and air conditioning, CRC Press LLC, Florida, 0-8493-9584-4.
- Sandal B., (2006) Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin f-grafik yöntemi ile optimum boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 182486.
- Sancar İ., Bulut, H. (2017) Experimental Havalı güneş kolektörlerinde farklı bağlantı şekillerinin ısı performansına etkisinin deneysel analizi, MENSEC Mediterranean Natural Sciences and Engineering Congress , 19-22 October 2017, Podgorica, Montenegro.
- Sancar, İ., & Bulut, H., (2014). Mahal ısıtmasında kullanılan güneş kolektörleri ve Adıyaman şartlarında performansının incelenmesi
- Sarı, A., Alkan, C., Karaipekli, A., Önal, A., (2008). Preparation, characterization and thermal properties of styrene maleic anhydride copolymer (SMA)/fatty acid composites as form stable phase change materials. Energy Conversion and Management, 49(2), 373-380.
- Sayın, S. (2006). Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 13, 318-345.
- Suman S., Khan M. , Pathak , M.(2015) Performance enhancement of solar collectors A review .Renewable and Sustainable Energy Reviews ; 49 : 192–210.
- Şanlı, G. (2010) Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin teorik olarak incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şahan, N., (2011) Faz değıştiren maddelerin nano malzemelerle kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66s, Adana.

- Şener, M. (2013) Etkin bir havalı güneş kolektörünün tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çorum.
- Şevik, S., Abuşka, M. (2019) Thermal Performance of Flexible Air Duct Using a New Absorber Construction in a Solar Air Collector, *Applied Thermal Engineering*, (SCI-Expanded), 146, 123-134,
- Toğrul İ. T, Pehlivan, D. (2002). Konik yoğunlaştırmalı bir güneş enerjili hava ısıtıcının verimine farklı absorber yüzey kullanımının etkisi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 22(2), 47 - 53.
- Tuncer Z. (2018) Yeni geliştirilen havalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji parametrelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Tırıs, Ç., Tırıs, M., (1994) Düzlemsel Güneş Kolektörlerinin Verimini Artıran Parametreler”, *T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Ankara, 26, 35-40
- Utlı, Z., Aydın, D., ve Kıncay, O., (2013) Yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 144.
- Uyarel, Y. A. ve Öz S. E (1987). *Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları Kitabı*, Birsen Yayınevi, Ankara 239 s.
- Üçler K. (2019) Güneş enerjisinin mekân ısıtması amacıyla duyulur ısı depolama malzemelerinde ve faz değiştiren maddelerde depolanmasının incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Üçok, T., (2012) Faz değişim malzemeli panel radyatörün deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yatağanbaba, A. (2013) Tuz hidrat ve parafinlerin gözenekli ortamlarda ısı depolama davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Yıldız, A. ve Güngör A. Bir düzlemsel havalı güneş kolektörünün matematiksel modellenmesi, *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 27, 1, 13-22, 2007 *J. Of Thermal Science And Technology* ©2007 Tıbtıd Printed İn Turkey Issn 1300-3615
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(3), 251-283.
- Wang, X., Lu, E., Lin, W., Liu, T., Shi, Z., Tang, R. ve Wang, C., 2000a. Heat Storage Performance of The Binary Systems Neopentyl Glycol/Pentaerythritol and Neopentyl Glycol/Trihydroxy Menthylaminomethane as Solid Phase Change Materials, *Energy Conservation and Management*, 41, 129-134.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Enis YILDIZ
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Karatay Cemil Keleşoğlu Lisesi	1999
	Batman Üniversitesi Enerji Sistemleri	2018
Üniversite	: Mühendisliği	
	Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği	2020
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana	
	: Bilim Dalı	Halen
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-Halen	Batman İl Milli Eğitim Müdürlüğü	Bilgisayar ve Ağ Sistemleri Yöneticisi

UZMANLIK ALANI

Bilgisayar Programlama
 Yenilenebilir Enerji Sistemleri
 Makine Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce (Temel Seviye)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

- Yılmaz A., Yıldız M.E. (2019). 4x4 Cm Pem Yakıt Pili Veriminin Teorik ve Deneysel İncelenmesi Siirt Üniversitesi International Engineering and Science Symposium - Konferans Bildirisi
- Yılmaz A., Yıldız M.E. (2019). Yakıt Hücreli Teknolojisinin Gelişimi ve Geleceği 2. Uluslararası Mardin Artuklu Bilimsel Araştırmalar Kongresi Konferans Bildirisi ISBN 978-605-7695-31-4
- Yılmaz A., Yıldız M.E., Çağırtekin Ö. (2019). Organic Material Potential And Energy Analysis For Biogas Application Of Batman . European Journal of Technique (EJT) , 9 (1) , 66-73 . DOI: 10.36222/ejt.529824 Makale